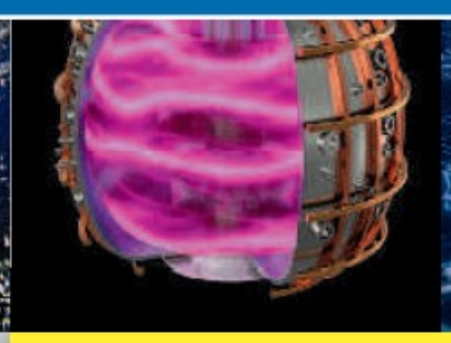
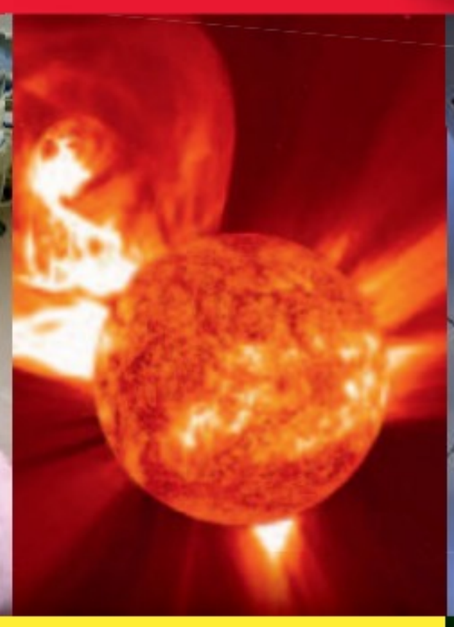
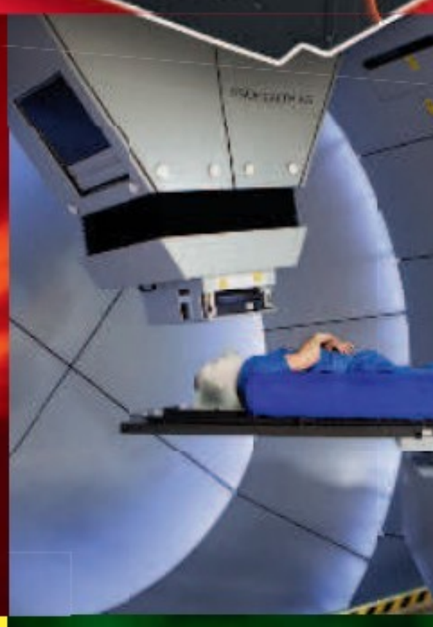
SCIENCES ET AVENIR

+ CADEAU
VOS LUNETTES POUR L'ÉCLIPSE



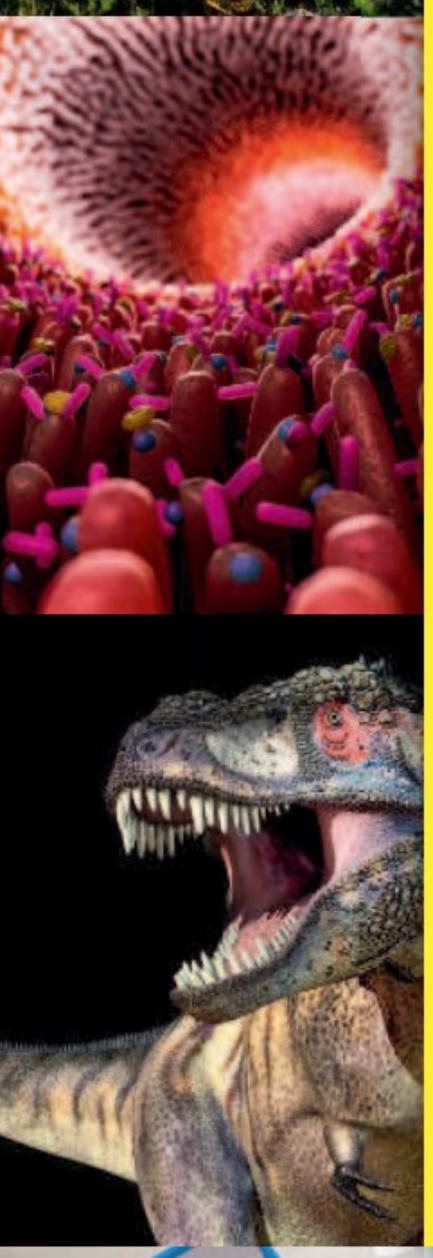


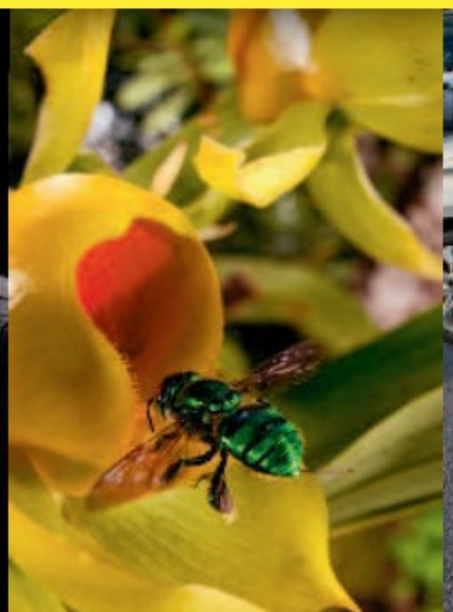


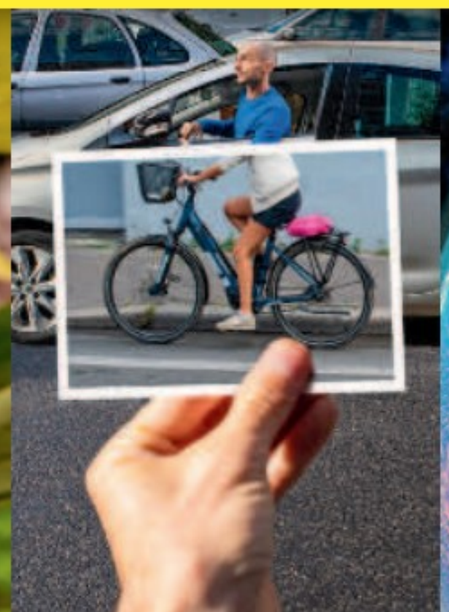
LES 25 SCÉNARIOS QUI CHANGENT TOUT

Et si...

L'IA résolvait tous les problèmes mathématiques • Le Gulf Stream s'arrêtait • Un astéroïde tueur se dirigeait vers la Terre • On guérissait tous les cancers • On maîtrisait la fusion nucléaire • Nous avions épuisé notre dernière goutte de pétrole • Les planètes changeaient d'orbite • On faisait revivre des espèces disparues







Profiter de l’été, ça vaut le coup.

Ça vaut le coup.

Notre gamme Cien Sun à partir de 2.99€

Année 2026. Photos non contractuelles. LIDL RCS Nanterre 343 262 622

BERNARD MARTINEZ

ÉDITO

Mathieu Nowak
Rédacteur en chef

Et si… L'imagination comme instrument de connaissance

Deux mots seulement. Deux mots que les enfants prononcent pour ouvrir des mondes, défaire les règles, déplacer les évidences. Deux mots qui, sous leur air de jeu, portent aussi l'un des gestes les plus sérieux de la pensée scientifique : faire varier une hypothèse pour mieux comprendre le réel. « Et si… » Tout commence ainsi, dans ce dossier spécial été. Mais tous ces « Et si… » ne disent pas la même chose. Certains réécrivent le passé et nous invitent à mesurer la part de hasard qui a conduit jusqu'à nous : si les dinosaures n'avaient jamais disparu, *Homo sapiens* aurait-il seulement existé ? D'autres explorent l'improbable, ces événements rares mais aux conséquences potentiellement immenses : un astéroïde tueur, une tempête solaire majeure… Il en est aussi qui nous projettent dans un avenir quasi certain, comme celui d'une planète sans glaciers. Les derniers, enfin, relèvent de l'espoir, lorsqu'ils dessinent ce que les sciences pourraient rendre possible, à l'image de la fusion nucléaire, promesse d'une source d'énergie propre et inépuisable.

Notre avenir se joue souvent dans cet espace incertain où les hypothèses d'hier deviennent les réalités de demain

C'est là toute l'ambition de ce numéro : non pas céder au vertige de la science-fiction, mais utiliser l'imagination comme un instrument de connaissance. En appuyant chacun de ces scénarios sur les recherches les plus récentes, la rédaction de *Sciences et Avenir* a voulu explorer cette frontière mouvante entre l'impossible, l'improbable, le probable et l'espéré. Une frontière moins nette qu'on ne le croit. L'histoire de la Terre est pleine d'accidents devenus décisifs. L'histoire des sciences, de ruptures longtemps jugées invraisemblables. Et notre avenir, lui, se joue souvent dans cet espace incertain où les hypothèses d'hier deviennent les réalités de demain. Bonne lecture et bel été ! ■

Pour profiter pleinement de l'éclipse solaire du 12 août 2026, *Sciences et Avenir* vous offre des lunettes Bresser. Retrouvez nos conseils d'observation et les consignes de sécurité p. 9

SCIENCES ET AVENIR

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (11 numéros dont un double) : 35 € 1 an complet (11 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233.304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Rédacteur en chef Sciences et Avenir Mathieu NOWAK - 01.55.35.56.38
Rédacteur en chef La Recherche Philippe PAJOT - 01.70.98.19.29
Rédacteur en chef digital Olivier LASCAR - 01.55.35.56.15
Rédaction en chef Les Dossiers Vincent REA - 01.55.35.56.35 avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Adjoint à la rédaction en chef Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Hugo JALINIÈRE (Sciences et Avenir) - 01.55.35.56.52
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28, Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Chef(fe)s de service Fabrice NICOT (fondamental) - 01.55.35.56.46, Hervé RATEL (adjoint, actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78, Mathias GERMAIN (La Recherche, biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33, Arnaud DEVILLARD (numérique, expositions) - 01.55.35.56.27 Sylvie ROUAT (grand reporteure, espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Assistante de direction Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN
Chroniqueur Jean-Gabriel GANASCIA
Ont participé à ce numéro : P. BOYER, T. de BASTARD, T. BRAJARD, R. BRILLAUD, V. CONSTANTIN, C. COUMAU, C. DOUTEAU, É. GILLET, C. GOYA, N. GUTIERREZ C, J. IGNASSE, M. JULIEN, P. KALDY, G. LALU, M. PARRA, É. PROUMEN, P. TERRAZ
1re secrétaire de rédaction Sandrine HAGÈGE - 01.55.35.56.17
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Pôle digital Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70, Isabelle DO O'GOMES (cheffe de rubrique, veille) - 01.55.35.56.49, Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56, Astrid SAINT AUGUSTE (rédactrice spécialisée) - 01.55.35.56.48, Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41 Yann BOURDAIS chef de projet junior - Flora ISSINGUI cheffe de projet marketing digital
Courrier des lecteurs Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Comptabilité - compta@challenges.fr
Responsable ressources humaines William AFTHONIADES - wafthoniades@challenges.fr
Responsable paye Sandrine MARTIN - smartin@challenges.fr
Fabrication Creatoprint
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable réabonnement Yasmina FERHAT – 01.55.35.56.64
Responsable du marketing direct Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Partenariats et événements Alain SCEMAMA - 01.58.65.03.58
Publicité MediaObs 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directrice de publicité Caroline GILLES - 01.44.88.89.03
Exécution Émilien RIGNOLS - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20

Les Éditions Croque Futur SAS au capital de 10 100 000 euros associé UFIPAR (LVMH) - 41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Président et directeur de la publication Maurice SZAFRAN
Directeur général Thierry MASSÉ

Ce magazine est imprimé chez RotoFrance, 25, rue de la Maison Rouge 77185 Lognes
Origine du papier : Allemagne - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,018 kg/tonne de papier

Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.
PEFC
10-31-1557
pefc-france.org

FR

ACPM DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement.
Ce numéro comporte : les lettres « Sciences et Avenir bienvenue aux abonnés », « Sciences et Avenir Parrainage » jetées sur couverture sur une partie de la diffusion abonnés ; ainsi que le message « L'Histoire » jeté sur couverture sur la totalité de la diffusion abonnés.

Commission paritaire n° 1126 K 79712.
ISSN 3040-0457. Distribué par MLP.

SUR LA ROUTE ET AU-DELÀ

Notre expertise dans les matériaux composites nous permet de développer une courroie qui améliore la fluidité de mouvement avec prothèse.

BETC — M.F.P. Michelin — S.A.S. au capital de 504.000.000 € - Place des Carmes-Dauphine 63040 Clermont-Ferrand Cedex 9 — 855 200 507 RCS Clermont-Ferrand.

MICHELIN

MOTION FOR LIFE

MOTION FOR LIFE = LE MOUVEMENT C'EST LA VIE

SOMMAIRE

Sciences et Avenir / N° 953-954 / Juillet-Août 2026

DOSSIER SPÉCIAL ÉTÉ P. 28

Et si... Les 25 scénarios qui changent tout

Qui n'a jamais rêvé d'imaginer un futur différent, d'explorer des scénarios parallèles ? Dans ce dossier d'été, les hypothèses les plus folles sont explorées à l'aune des recherches scientifiques les plus abouties.

P. TERRAZET P. BOYER

P. 62

Ukraine : dans l'usine secrète des robots de guerre

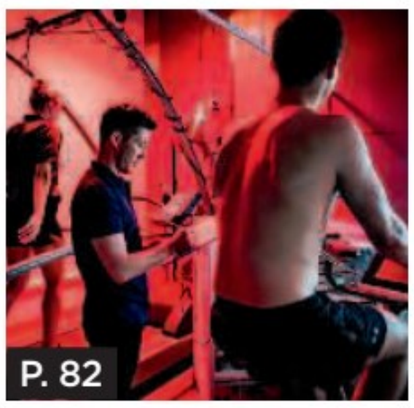
En Ukraine, des robots remplacent les soldats sur le front pour épargner à l'infanterie les tâches les plus risquées. Reportage exclusif de « Sciences et Avenir » dans une usine secrète.

MEDIA DRUM WORLD/MAXPPP

P. 72

Le mystère du grand blanc en Méditerranée

Des observations récentes le confirment : le grand requin blanc vit toujours dans la Grande Bleue. Les chercheurs tentent de localiser cette population en danger critique d'extinction pour la protéger.



B. ESPOSITO

P. 82

Comment le corps s'adapte à la chaleur

Que se passe-t-il dans notre organisme quand le mercure grimpe ? Comment notre corps réagit-il et jusqu'où peut-il s'adapter ? Les réponses des scientifiques.

3 **Édito** par Mathieu Nowak

ÉVÉNEMENT

6 **Le Soleil s'éclipse au cœur de l'été**

SCIENCES FONDAMENTALES

10 **ACTUALITÉS** Un trou noir géant cherche sa galaxie / L'Afrique de l'Est prête à se scinder

26 **Journal de l'IA : L'IA qui s'autoréplique à la chaîne**

62 **Ukraine : dans l'usine secrète des robots de guerre**

67 **Le premier vaisseau spatial à propulsion nucléaire**

70 **Woven City, la ville du futur ultraconnectée**

NATURE

14 **ACTUALITÉS** Climat : le scénario catastrophe s'éloigne / Le chacal utilise l'humain pour faire barrage au loup

72 **Requin : le mystère du grand blanc en Méditerranée**

78 **Dans l'Aude, la science au chevet des forêts incendiées**

SANTÉ

18 **ACTUALITÉS** Dans le cerveau, les gènes ont un sexe / Une avancée majeure dans le traitement du cancer du pancréas

82 **Climat : comment le corps s'adapte à la chaleur**

88 **Covid long : le cerveau comme nouveau suspect**

91 **Les bienfaits d'être grand-parent**

94 **Nutrition : Pourquoi les antioxydants sont si importants**

HISTOIRE

22 **ACTUALITÉS** Le secret antisismique de la Grande Pyramide / Neandertal allait chez le dentiste

96 **Pompéi : les révélations des bruits de couloir**

101 **À la redécouverte des « châteaux cathares »**

RENDEZ-VOUS

104 **Sélection livres**

106 **Expositions**

108 **Le ciel de juillet et août**

+

VOS JEUX DE L'ÉTÉ P. 110

Quiz d'actu, mots croisés, énigmes, sudoku

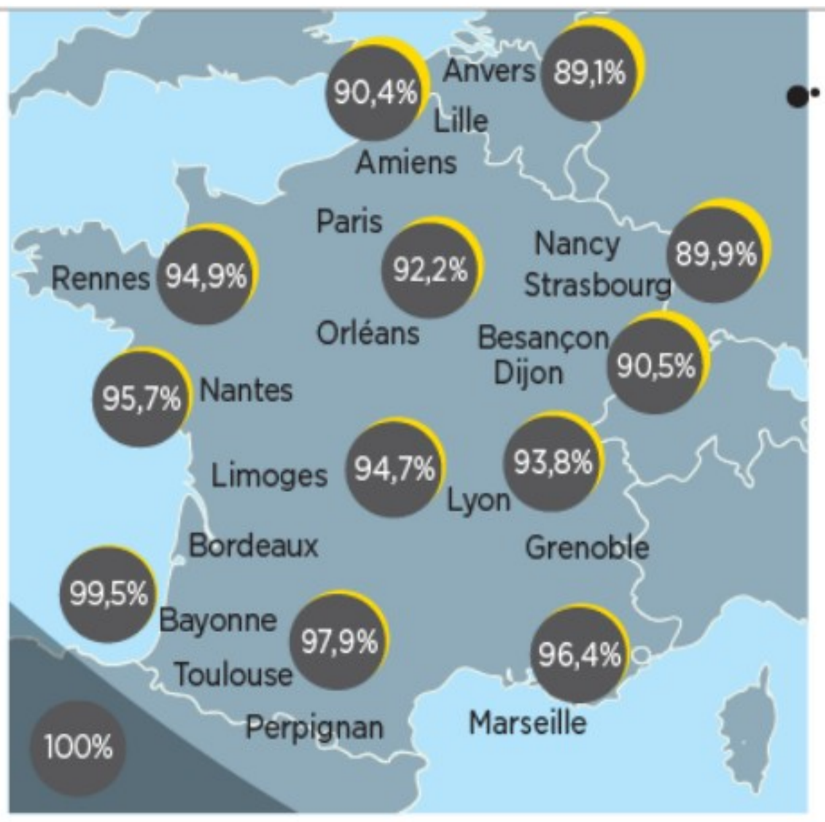
FERRARI / STARFACE — SPL / SUCRÉ SALÉ — BIOSPHOTO — NASA / SDO

Le Soleil s'éclipse au cœur de l'été

Le 12 août, les regards seront tournés vers le ciel. Vers 19 h 30, le disque lunaire commencera à grignoter le Soleil. Un peu moins d'une heure plus tard, notre étoile ne sera plus qu'un mince croissant lumineux au-dessus de l'Hexagone. Un spectacle que vous pourrez admirer en utilisant des lunettes spéciales qui devront être portées dès la première observation : le Soleil ne se regarde jamais à l'œil nu, pas même ce jour-là. En France métropolitaine, le phénomène sera partiel mais spectaculaire, avec une occultation allant de 90,4 % (Lille) à 99,5 % (Bayonne). Pour vivre pleinement l'expérience, il faudra toutefois franchir les Pyrénées : une large bande du nord de l'Espagne sera plongée dans l'ombre de la Lune, et l'obscurité sera totale.

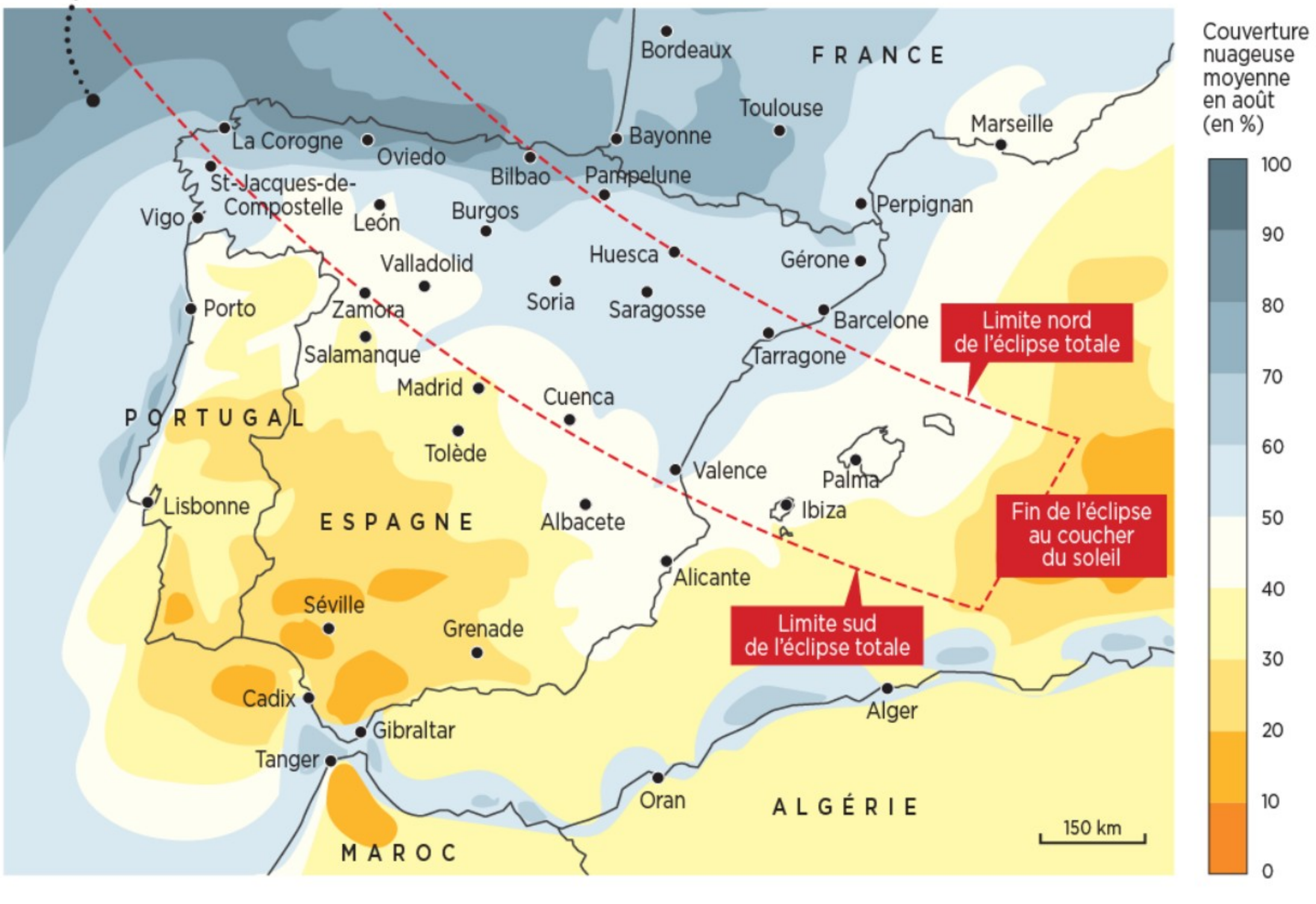
La bande de totalité traverse l'Espagne

L'éclipse sera totale dans la bande délimitée par les traits pointillés. Pour l'observer dans les meilleures conditions, privilégiez les zones peu nuageuses (en blanc) et dégagées vers l'ouest. Son maximum aura lieu peu avant le coucher du Soleil (très bas sur l'horizon). Les lunettes pourront être retirées uniquement durant la totalité, qui durera environ 1 min 30 s.



En France, des niveaux d'occultation variables

Même si le phénomène n'est pas aussi saisissant qu'en Espagne, voir le Soleil réduit à un fin croissant ne manquera pas de charme. L'éclipse débutera vers 19 h 30, selon les régions, culminera environ 1 heure plus tard et s'achèvera peu après 21 h 10. En certains endroits, le Soleil se couchera encore éclipsé. Les lunettes seront indispensables pendant tout l'événement.

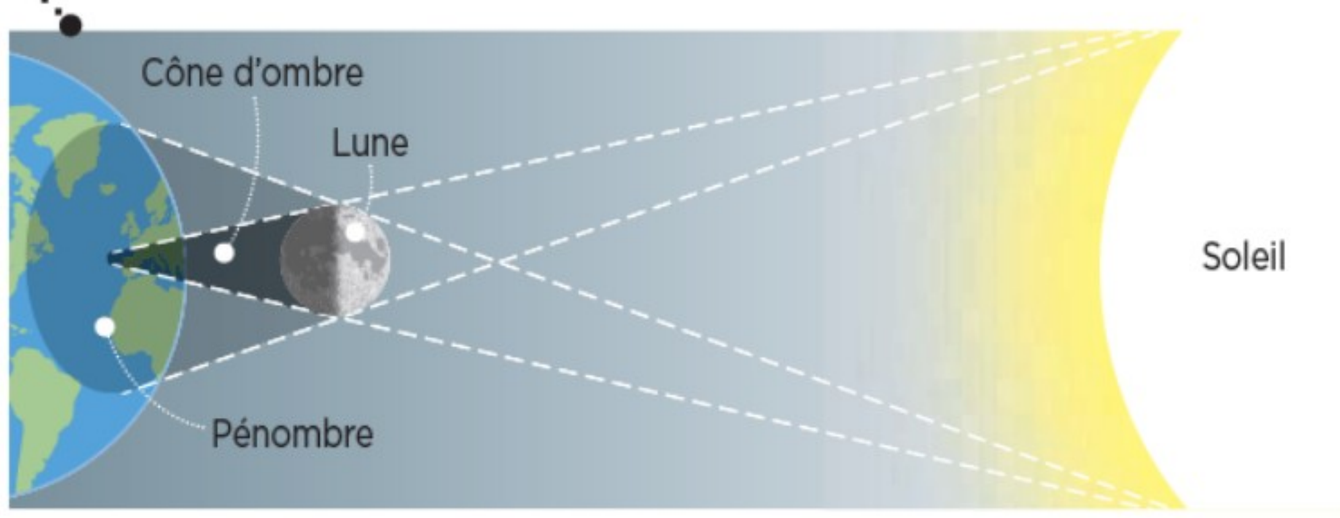


JUAN CARLOS CASADO /SPL/SUCRÉ SALÉ

INFOGRAPHIES : BRUNO BOURGEOIS - SOURCE : ASSOCIATION FRANÇAISE D'ASTRONOMIE (AFA)

Quand la Lune cache le Soleil

Une éclipse solaire se produit lorsque la Lune s'interpose entre la Terre et le Soleil. Le disque lunaire se superpose alors exactement au disque solaire. Son ombre projette dans l'espace un cône d'ombre où l'éclipse est totale. Ce sera le cas notamment en Espagne. Autour, la pénombre correspond à une zone bien plus large où seule une partie du Soleil est masquée. On assiste alors à une éclipse partielle.



BARBARA PERRI
ASTROPHYSICIENNE À L'UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY

« L'éclipse révèle les basses couches de l'atmosphère solaire »

Avec les coronographes qui masquent le Soleil, les éclipses naturelles ont-elles encore un intérêt scientifique ?
Oui. Car la Lune demeure aujourd'hui le meilleur coronographe que nous ayons ! C'est une coïncidence incroyable mais vue depuis la Terre, elle masque presque parfaitement le disque solaire. Or, pour observer la couronne, cette atmosphère extrêmement ténue autour du Soleil, il faut bloquer sa lumière avec une précision extrême. Si un instrument laisse passer ne serait-ce que 1 % de luminosité, la couronne devient invisible.

N'a-t-on pas les moyens de réaliser des disques recouvrant exactement la surface solaire ?
Les coronographes spatiaux, comme ceux de Soho ou du satellite européen Proba-3, sont très performants, et permettent de produire des « éclipses artificielles » en permanence. Mais les ingénieurs préfèrent toujours masquer une région légèrement plus grande que le disque solaire, pour éviter que le moindre filet de lumière directe ne passe. Résultat : les coronographes ne voient pas les couches les plus basses de l'atmosphère solaire. Pourtant, c'est justement là que naissent beaucoup de structures et de phénomènes physiques qui nous intéressent.

MICHEL DEVIJVER

« La Lune demeure le meilleur coronographe que nous ayons ! »

Que cherche-t-on encore à découvrir sur notre étoile ?
Le grand mystère est celui du chauffage de la couronne solaire. Intuitivement, on pourrait penser que plus on s'éloigne du cœur du Soleil, plus la température diminue. Et c'est vrai… jusqu'à la surface visible du Soleil, où elle atteint environ 6000 °C. Mais dans la couronne solaire, elle remonte à plus de 1 million de degrés. On sait désormais que le champ magnétique joue un rôle central, mais on ne comprend toujours pas précisément quels mécanismes injectent cette énergie dans la couronne.

En quoi l'observation des éclipses nous aide-t-elle à en savoir plus ?
Les éclipses naturelles révèlent justement les toutes petites structures de la basse atmosphère solaire. Car on pense que l'énergie est injectée sous forme d'une multitude de microphénomènes : des ondes, des reconnexions magnétiques, des courants électriques… Le problème, c'est de déterminer quel mécanisme est prédominant.

Donc, le 12 août, le Soleil sera bien un objet d'étude pour les astronomes ?
Oui. Il y aura des observations tout au long de la bande de totalité, depuis le Groenland jusqu'à l'Espagne. L'idée est de coordonner des équipes internationales pour suivre l'évolution de la couronne pendant plusieurs heures, à mesure que l'ombre de la Lune parcourt la Terre. C'est important car la couronne solaire n'est pas figée : ses structures évoluent en permanence. Ces observations vont donc permettre, à la fois, de tester nos modèles et d'obtenir des images à très haute résolution d'une région du Soleil encore difficile à étudier autrement.
Les éclipses sont aussi très utiles pour la modélisation. Avant l'événement, plusieurs équipes vont tenter de prédire l'aspect de la couronne : où apparaîtront certaines structures, certains jets de matière… Puis, après l'éclipse, nous comparerons ces prévisions avec ce qui aura réellement été observé. C'est une manière très efficace de vérifier ce que nos modèles comprennent bien… et ce qu'ils ne comprennent pas encore. Une éclipse reste donc l'un des rares moments où le Soleil accepte de dévoiler une partie de ses secrets. ■

Propos recueillis par Fabrice Nicot

EDNA LESHOWITZ/ZUMA PRESS WIRE/REA

N'utilisez les lunettes spéciales que si leurs filtres solaires ne sont pas endommagés, même légèrement.

RECOMMANDATIONS

Des lunettes pour observer l'éclipse en toute sécurité

Pour profiter pleinement de l'éclipse solaire, « Sciences et Avenir » vous offre une paire de lunettes Bresser.

Ces lunettes spéciales ont été fabriquées selon les normes de sécurité les plus strictes et vous permettront d'observer en toute sécurité l'éclipse, qu'elle soit annulaire, totale ou partielle. Le film filtrant de lumière blanche haut de gamme bloque efficacement les rayons UV et IR nocifs. Il offre une image solaire claire et naturelle avec une teinte jaune douce. Robustes et conçues pour durer, ces lunettes peuvent être utilisées à plusieurs reprises. Vous pourrez ainsi observer les grandes taches solaires ou encore admirer les avions passant devant le Soleil.

Consignes de sécurité

Inspectez les filtres solaires des lunettes avant chaque utilisation et assurez-vous qu'ils ne sont pas endommagés. Tenez-les face à une source de lumière forte pour détecter d'éventuelles rayures, fissures ou trous. N'utilisez pas les lunettes pour éclipses solaires pour observer le Soleil si les filtres solaires sont même légèrement endommagés. Dans ce cas, les lunettes doivent être mises au rebut ! Les plis ou légères ondulations sur le film sont techniquement inévitables et ne constituent pas un défaut du produit, sauf s'ils entraînent des dommages.

Ne regardez jamais le Soleil sans filtres de protection testés. Un filtre lunaire ou un verre de sécurité pour soudeurs ne peut pas être utilisé pour observer le Soleil. Le non-respect de cette consigne entraînera immédiatement des dommages oculaires graves, pouvant aller jusqu'à la cécité totale ! Les enfants ne doivent pas regarder le Soleil, même avec des lunettes pour éclipses solaires, sans supervision ! Ne l'observez pas après une chirurgie oculaire ou en cas d'autres conditions oculaires sans avis médical préalable.

Nettoyage et entretien

Ne nettoyez les filtres que si cela est absolument nécessaire. Utilisez un chiffon non pelucheux et non abrasif pour le nettoyage et, si nécessaire, humidifiez-le légèrement avec de l'eau claire. Essuyez le film très soigneusement et sans exercer de pression. Pour éviter un vieillissement prématuré du film filtrant, stockez les lunettes pour éclipses solaires dans un endroit protégé de la lumière lorsqu'elles ne sont pas utilisées ; et ne les exposez pas à des températures supérieures à 40 °C.

Répond aux exigences des normes, réglementations et directives suivantes : ISO 12312-2 : 2015(E) pour les filtres pour l'observation directe du Soleil EN 1836:2005 + A1 : 2007 pour les filtres E15 pour l'observation directe du Soleil AS/NZS 1338.1 : 2012 pour les filtres de protection oculaire EU PPE 2016/425 pour les équipements de protection individuelle ■

Détecté dans l'Univers primitif, QSO1 (en rouge, en médaillon) contient un trou noir deux fois plus massif que la matière qui l'entoure.

Un trou noir géant cherche sa galaxie

Grâce au télescope James-Webb, un trou noir supermassif a été détecté au sein d'une galaxie vue 700 millions d'années après le Big Bang. Et sa structure inédite défie les modèles cosmiques actuels.

C'est une question digne de l'œuf et de la poule. La plupart des galaxies possèdent en leur centre un trou noir supermassif, mais qui est apparu en premier : la galaxie ou le trou noir ? Une étude parue dans la revue *Nature* vient d'apporter un élément de réponse.

Grâce au télescope spatial James-Webb, des astrophysiciens ont observé un trou noir d'environ 50 millions de masses solaires, autour duquel gravitent une grande quantité de gaz et très peu d'étoiles. Cet attelage étrange, nommé QSO1, est vu seulement 700 millions d'années après le Big Bang. À lui seul, le trou noir est au moins deux fois plus massif que la matière qui l'entoure. Une proportion des milliers de fois supérieure à celle observée dans les galaxies habituellement, où les trous noirs supermassifs ne constituent qu'une infime fraction de la masse totale.

« C'est un changement de paradigme »

« Il s'agit d'une découverte remarquable, explique Roberto Maiolino, de l'université de Cambridge au Royaume-Uni, coauteur de l'étude. *C'est un changement de paradigme, une remise en question totale des scénarios classiques de formation et de croissance des trous noirs.* »

En effet, qu'un tel monstre prospère ainsi dans l'enfance de l'Univers suggère qu'il s'est peut-être formé d'un seul coup, à partir de l'effondrement d'un nuage de gaz sur lui-même. Cette hypothèse s'oppose au scénario plus traditionnel dans lequel les premiers trous noirs proviennent de l'effondrement d'étoiles massives, avant de grossir progressivement en engloutissant du gaz et en fusionnant avec d'autres trous noirs.

Plus excitant encore, il pourrait aussi s'agir d'un trou noir primordial. Ces objets hypothétiques se seraient formés dans la première seconde après le Big Bang, directement à partir de poches de matières très chaudes et très denses.

Mais, quelle que soit l'origine du trou noir, QSO1 ressemble fort à une galaxie en gestation. En effet, le gaz qui lui tourne autour est composé essentiellement d'hydrogène et d'hélium, les éléments les plus simples issus du Big Bang. Il n'y a que très peu d'éléments plus lourds, comme l'oxygène, formés au cœur des étoiles.

QSO1 représente ainsi l'un des environnements galactiques les plus primitifs jamais mesurés. Les astronomes cherchent désormais d'autres objets similaires afin de déterminer si QSO1 constitue une exception ou bien le premier représentant de galaxies en devenir. ■ **F.N.**

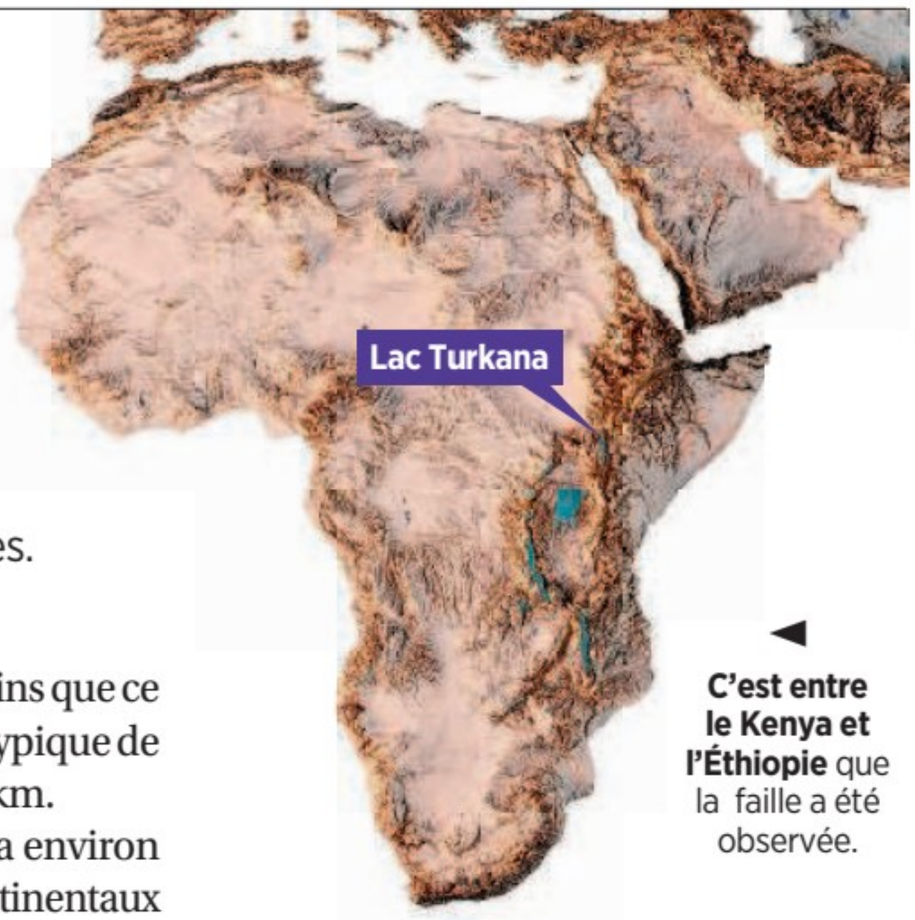
NASA, ESA, CSA

L'Afrique de l'Est prête à se scinder

La région du lac Turkana aurait franchi un seuil critique dans le processus qui divisera l'Afrique en deux masses continentales.

« *L'Afrique de l'Est est mûre pour une rupture continentale* », annonce une étude publiée dans *Nature*. Ce constat découle de l'analyse de données sismiques à haute résolution, initialement recueillies pour l'exploration des ressources pétrolières, provenant de la zone du lac Turkana, à cheval entre le Kenya et l'Éthiopie. La structure du sous-sol montre que la croûte cristalline s'y est amincie jusqu'à 13 km, bien moins que ce qui était attendu — l'épaisseur typique de la croûte terrestre étant de 30 km.

L'amincissement a débuté il y a environ 4 millions d'années. Les rifts continentaux sont des zones où les plaques tectoniques s'écartent, entraînant progressivement la fragmentation des continents. Après une première étape d'étirement, le rift de Turkana entame une transition critique vers une fragmentation jamais observée auparavant. L'étape suivante, soit la naissance d'un nouvel océan par rupture complète de la lithosphère, n'est attendue que dans quelques millions d'années. **S. R.**



C'est entre le Kenya et l'Éthiopie que la faille a été observée.

GETTY IMAGES

EN DEUX MOTS

ESPACE L'astronaute français Thomas Pesquet a été sélectionné pour commander la sixième mission privée vers la Station spatiale internationale, confiée par la Nasa à la société Vast. **DÉFENSE** Après huit ans de tensions, Paris et Berlin ont acté l'abandon du programme européen d'avion de combat du futur, le Scaf. **IA** La consommation en eau et en électricité des centres de données devrait doubler d'ici à 2030, en raison de l'explosion de la demande pour l'intelligence artificielle, selon des chercheurs de l'ONU.

L'œil de Lascar

CLONE NUMÉRIQUE Selon le *Financial Times*, Mark Zuckerberg a demandé à ses équipes de Meta (Facebook, WhatsApp, Instagram) de créer un double de lui-même, capable d'interagir avec ses employés. Si le patron est dupliqué, Meta va licencier 10 % de ses effectifs : une décision « *triste* » selon lui, mais nécessaire pour financer ses projets.

Une atmosphère imprévue

ASTRONOMIE **L'astre 2002 XV93, monde glacé de 500 km de diamètre situé au-delà de l'orbite de Neptune, possède une atmosphère. Certes très ténue : avec une pression de 100 à 200 nanobars, elle est 5 à 10 millions de fois moins dense que celle de la Terre. Les planétologues n'imaginaient pas qu'un corps aussi petit et éloigné du Soleil pouvait retenir une couche externe de gaz. Jusqu'à présent, Pluton était le seul objet transneptunien où une atmosphère avait pu être détectée. F. D.**

SOURCE : K. ARIMATSU, OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE DU JAPON

Les abeilles apprennent aux drones à naviguer

BIOMIMÉTISME Des drones peuvent désormais retrouver seuls leur point de départ après un vol de plus de 600 mètres, sans GPS ni carte détaillée. S'inspirant des abeilles, des chercheurs ont mis au point un système de navigation n'utilisant que 42 kilo-octets de mémoire. Comme les insectes, l'appareil effectue d'abord un court vol d'apprentissage, puis mémorise son environnement pour rentrer à bon port. Une approche prometteuse pour surveiller cultures ou serres. **H. J.**

SOURCE : DEQUAN OU, UNIVERSITÉ TECHNIQUE DE DELFT, PAYS-BAS

DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

L'engin pourrait aider à surveiller les cultures.

« L'Enfer » de Dante serait né d'un impact d'astéroïde

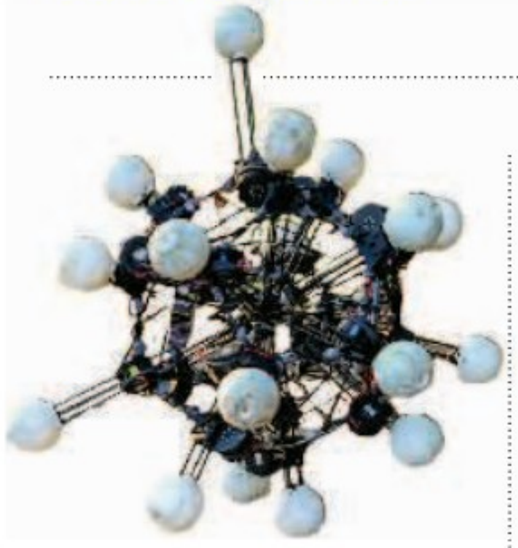
ASTRONOMIE Et si *L'Enfer* de Dante résultait d'un impact d'astéroïde ? C'est l'hypothèse avancée par Timothy Burbery, spécialiste de littérature à l'université Marshall (États-Unis). Selon lui, la chute de Satan décrite dans la *Divine Comédie* évoque les effets géophysiques d'un impact géant : creusement d'un immense cratère, déplacement de matière vers l'hémisphère opposé, formation d'un pic de matière au centre du cratère. Une intuition qui ferait du poète un génial « géophysicien accidentel ». **F. N.**

46,3 %

La part de kilomètres parcourus à vide par les « robotaxis » de Waymo

TRANSPORTS Selon une étude menée en Californie entre août 2023 et décembre 2025, les « robotaxis » de Waymo passent près de la moitié de la distance circulée sans passagers. Ces déplacements, pour rejoindre un client ou se repositionner dans la ville, remettent en question la promesse de véhicules autonomes censés réduire le trafic. **A. D.**

SOURCE : AWAD ABDELHALIM, MIT, ÉTATS-UNIS



DUKE UNIVERSITY

Un robot oursin capable d'escalader

ROBOTIQUE Avec ses 20 pattes télescopiques, Argus ressemble davantage à un oursin qu'à un robot. Cette étrange machine conçue par des ingénieurs de l'université Duke (États-Unis) se déplace aussi bien sur le sable qu'en forêt, transporte des charges, résiste à la panne de plusieurs membres et peut même escalader entre deux parois verticales. Ses concepteurs espèrent exploiter cette architecture originale pour explorer des terrains difficiles, sur Terre comme ailleurs. **E. P.**

ETH ZURICH

Le robot sonde la glace sans exposer au danger les opérateurs.

Ce sous-marin mesure la glace

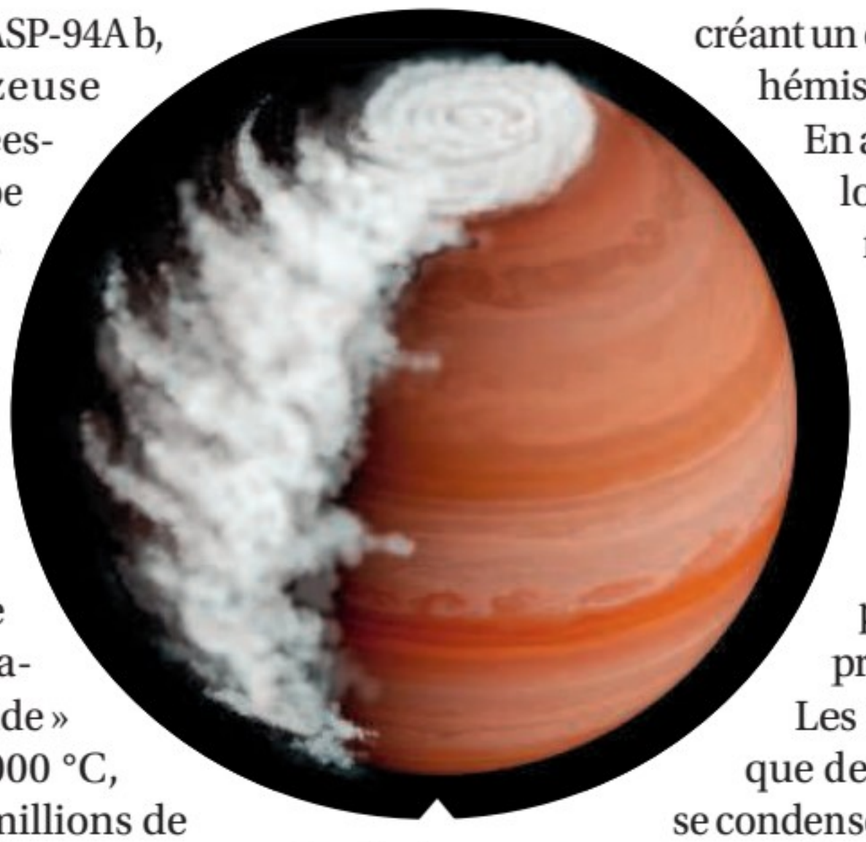
ROBOTIQUE Un drone sous-marin capable de mesurer l'épaisseur de la glace sans jamais monter à sa surface. C'est l'idée de Polaris, un projet développé par des étudiants de l'École polytechnique fédérale de Zurich (Suisse). Grâce à un sonar ou un capteur de pression, ce robot détermine l'épaisseur de la couche gelée et enregistre sa position. Des essais ont été menés avec succès sur un lac alpin, évitant ainsi d'envoyer opérateurs ou instruments sur une surface gelée parfois fragile. **A. D.**

Une exoplanète aux matins nuageux

Le télescope spatial James-Webb a révélé un gigantesque cycle météorologique sur une exoplanète géante.

Sur l'exoplanète WASP-94A b, une géante gazeuse située à 690 années-lumière de la Terre, l'aube se lève sous d'épais nuages de roche et de métal… qui se dissipent progressivement au crépuscule. Ce bulletin météo très exotique a été établi grâce au télescope James-Webb. Cette planète, une « Jupiter chaude » chauffée à plus de 1000 °C, orbite à seulement 8 millions de kilomètres de son étoile. Comme la Lune avec la Terre, elle présente toujours la même face à son soleil, créant un contraste extrême entre hémisphères jour et nuit.

En analysant l'atmosphère lors du transit de la planète devant son étoile, les chercheurs ont découvert que le limbe du matin est masqué par d'épais nuages d'altitude, tandis que celui du soir apparaît plus dégagé et révèle la présence de vapeur d'eau. Les simulations suggèrent que des particules minérales se condensent sur la face nocturne, avant d'être transportées par de puissants vents vers la face éclairée, où elles s'évaporent. **F. N.**



H. ROBBINS, JOHNS HOPKINS UNIVERSITY

La géante gazeuse à l'atmosphère complexe présente de gros nuages le matin (vue d'artiste).

Invincible

à domicile

Avec Livebox Max Fibre

Orange Maison Protégée

Alarme et Télésurveillance

vous revient à

10 €/mois*

pour un appartement

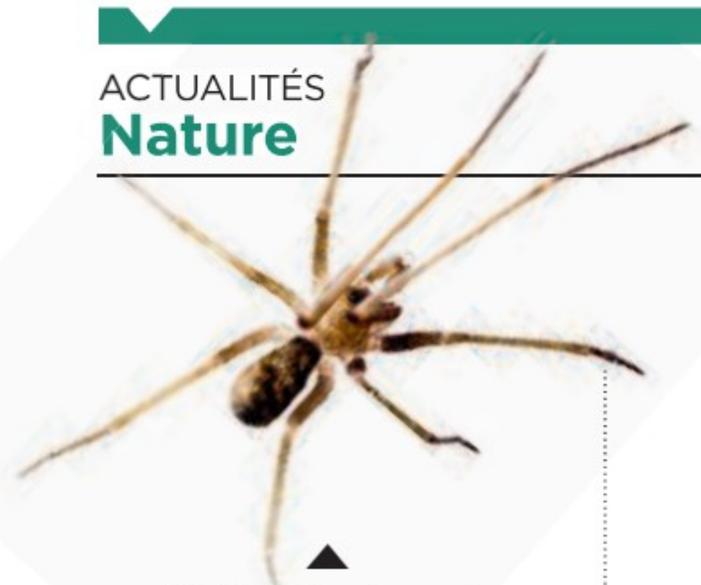
Disponible en boutique ou au 3972.

***Soit une remise de 20 €/mois offerte pour toute première souscription à Orange Maison Protégée avec Livebox Max Fibre.**

Offres soumises à conditions en France métropolitaine entre le 04/06/26 et le 19/08/26 et sous réserve d'éligibilité, engagements 12 mois. Orange Maison Protégée : 30 €/mois pour un appartement dont la valeur des biens mobiliers est < à 100 000 €. Frais de mise en service : 49 €. Préavis de résiliation : 3 mois. Livebox Max : 57,99 €/mois - 20 €/mois de remise appliquée sur la facture. Frais de mise en service : 49 €. Résiliation : 60 €. Perte de la remise en cas de résiliation d'une des offres, de déménagement ou de cession. Conditions sur orange.fr. 3972 : service gratuit + coût d'un appel au tarif normal. Télésurveillance proposée par Orange Télésurveillance (SASU au capital de 28 126 657 € - Siège social : 1 avenue du Président Nelson Mandela 94110 Arcueil - RCS Créteil 824 353 973). Autorisation CNAPS : AUT-094-2117-05-16-20180654177. L'autorisation d'exercice ne confère aucune prérogative de puissance publique à l'entreprise ou aux personnes qui en bénéficient.

FRANCE FFF | orange™

PARTENAIRE MAJEUR



« **Pikelinia floydmuraria** » a été identifiée en Colombie.

JULIO C. GONZÁLEZ-GÓMEZ
SOURCE : LUÍS F. GARCÍA, UNIVERSITÉ DE LA RÉPUBLIQUE, URUGUAY

Une araignée nommée en hommage aux Pink Floyd

ARACHNOLOGIE Longue de seulement 3 à 4 mm, une nouvelle espèce d'araignée colombienne vient d'être décrite. Baptisée *Pikelinia floydmuraria*, elle doit son nom à son habitat favori — les murs des bâtiments — mais aussi à un clin d'œil assumé à l'album *The Wall* des Pink Floyd. Cette minuscule chasseuse se révèle redoutable : elle capture des fourmis jusqu'à six fois plus grosses qu'elle ! **H. J.**

20 %

La part des plantes à fleurs menacées

BOTANIQUE Un cinquième des plantes à fleurs pourrait disparaître, selon un recensement des Royal botanic gardens (Royaume-Uni). Les plus en danger occupent des branches évolutives isolées avec peu de plantes génétiquement proches. 9945 espèces (soit 3 % des plantes à fleurs) devraient d'ores et déjà faire l'objet de mesures de protection drastiques, selon les chercheurs. **L. C.**

Climat : le scénario catastrophe s'éloigne

Estimée aujourd'hui peu plausible, la trajectoire conduisant à près de 6 °C de réchauffement d'ici à 2100 disparaît des projections de référence.

JC MILHET/HANS LUCAS

La hausse des températures planétaires atteindrait +3,5 °C d'ici à 2100, selon le nouveau scénario extrême.

Le scénario climatique le plus alarmiste utilisé jusqu'ici par le Giec va disparaître. Jugée désormais peu plausible, la trajectoire fondée sur un recours massif et durable aux énergies fossiles, associée à un réchauffement approchant les 6 °C d'ici à 2100, est remplacée par un scénario haut moins extrême, de l'ordre de 3,5 °C à 4 °C.

Cette évolution figure parmi les principales nouveautés du CMIP7, la septième phase du programme de comparaison des modèles couplés. Depuis 1995, le CMIP compare les résultats de dizaines de centres de modélisation du climat et des interactions entre l'océan, les continents et l'atmosphère (c'est pourquoi ils sont dits « couplés »). Il fournit ainsi des scénarios d'évolution des gaz à effet de serre, d'ici à la fin du siècle, utilisés dans les rapports du Giec — qui n'en est donc pas l'auteur. Jusqu'ici, cinq trajectoires étaient proposées, entre une sortie rapide des énergies fossiles et un développement reposant largement sur celles-ci, avec plusieurs scénarios intermédiaires.

Les projections vont s'étendre jusqu'en 2500

En trente ans, le programme s'est nourri des milliards de données fournies par les satellites, les bouées océaniques et les réseaux de mesure terrestres. Les modèles se sont donc affinés et reposent désormais sur des bases beaucoup plus solides. Les chercheurs proposent notamment de ne plus construire leurs projections à partir des seules concentrations futures de CO_2, mais davantage sur les dynamiques d'émissions observées et des engagements sectoriels de réduction. L'évolution des puits de carbone terrestres et océaniques sera également mieux prise en compte.

Le CMIP7 retient désormais six trajectoires, allant d'un scénario d'émissions élevées jugé réaliste à deux scénarios d'émissions très faibles, voire négatives. Les projections s'étendront jusqu'en 2500, contre 2100 aujourd'hui. Ces nouvelles simulations serviront à mieux anticiper le climat que connaîtront les générations futures, mais aussi à mesurer plus précisément l'effet des décisions prises aujourd'hui. ■ **L. C.**

En Polynésie, l'océan sera mieux protégé

ÉCOLOGIE À l'occasion de la Conférence des Nations unies sur l'océan, le président de la Polynésie française, Moetai Brotherson, a annoncé un renforcement de la protection de Tainui Atea, la plus grande aire marine protégée du monde. D'ici à 2030, 1,6 million de km² bénéficieront d'une protection forte ou intégrale, contre environ 900 000 aujourd'hui. De quoi mieux préserver requins, tortues, baleines et récifs coralliens. **H. J.**

OCEAN COLOR/NASA

Entre Pacifique et Arctique, le détroit de Béring est stratégique pour le climat de la planète.

Un barrage géant pour sauver l'Amoc

GÉO-INGÉNIERIE

L'effondrement de l'Amoc, le système de courants atlantiques qui contribue à tempérer le climat de l'Europe, pourrait être évité en fermant le détroit de Béring par un barrage de 80 km *(lire aussi p. 44).* L'idée, aussi spectaculaire qu'improbable, repose sur des simulations montrant qu'empêcher les eaux du Pacifique de rejoindre l'océan Arctique renforcerait la stabilité de cette circulation océanique. Un résultat qui souligne l'influence inattendue du détroit de Béring sur l'équilibre climatique mondial. H. J.

SOURCE : JELLE SOONS, UNIVERSITÉ D'UTRECHT, PAYS-BAS

La propulsion des dauphins modélisée

CÉTOLOGIE Les dauphins sont parmi les mammifères marins les plus rapides, et le secret de cette vélocité a été élucidé par des chercheurs japonais. La modélisation du déplacement de l'animal dans l'eau, à l'aide d'un supercalculateur, révèle que l'abaissement de sa queue induit un puissant tourbillon qui suffit à la poussée, les tourbillons secondaires n'apportant pas plus d'efficacité. Ce mode de propulsion reste inchangé quelle que soit sa vitesse, et pourrait inspirer de futurs robots. **P. K.**

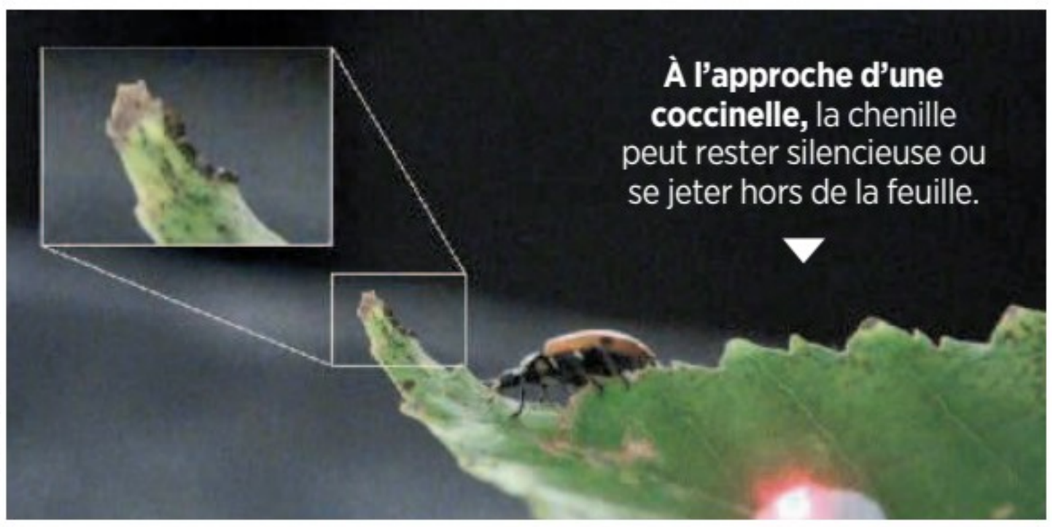
SOURCE : YUTARO MOTOORI, UNIVERSITÉ D'OSAKA, JAPON

YUTARO MOTOORI

La queue du dauphin génère, en s'abaissant, un puissant tourbillon qui le propulse.

Ces chenilles s'adaptent aux menaces

À partir des seules vibrations de leur environnement, ces insectes sont capables d'évaluer le danger.



EMILIE MAUDUIT

À l'approche d'une coccinelle, la chenille peut rester silencieuse ou se jeter hors de la feuille.

Pour une chenille d'à peine 1,5 mm, le bruit des pas peut faire la différence entre la vie et la mort. Des chercheurs de l'université Carleton (Canada) montrent que les jeunes chenilles de la phalène *Falcaria bilineata* distinguent les vibrations produites par différents intrus se déplaçant sur leur feuille. Publiée dans le *Journal of Experimental Biology,* l'étude révèle que ces minuscules insectes réagissent différemment selon la menace. Lorsqu'une autre chenille s'approche de l'extrémité de la feuille qu'elles occupent, les résidentes frappent et raclent la surface pour défendre leur territoire. Mais face à une coccinelle adulte, elles adoptent une stratégie opposée : silence total, immobilité, ou fuite. Certaines se laissent même tomber au bout d'un fil de soie. Une précaution loin d'être superflue : 43 % d'entre elles n'ont pas survécu à une rencontre avec une coccinelle. Ces travaux suggèrent que ces insectes sont capables d'évaluer finement le niveau de menace à partir des seules vibrations de leur environnement. **H. J.**

IL A DIT

« La terre ingérée agit comme une barrière dans le tube digestif, limitant l'absorption de composés nocifs »

Sylvain Lemoine, anthropologue biologique à l'université de Cambridge. Une explication possible à l'étonnante habitude des macaques de Gibraltar, qui mangent de l'argile pour compenser les effets de la « junk food » offerte par les touristes.

« L'Épée du ciel », l'arbre le plus haut d'Asie de l'Est

DENDROLOGIE Surnommé « l'Épée céleste de la rivière Da'an », un conifère de 84,1 mètres découvert à Taïwan devient le plus grand arbre connu d'Asie de l'Est. Son identification couronne plus de dix ans de recherches menées par des scientifiques et des grimpeurs. Ce *Taiwania cryptomerioides* rejoint le cercle très fermé des « arbres géants », mais reste loin du record de 116 m détenu par le séquoia Hyperion aux États-Unis. **H. J.**

SOURCE : CHUNG-CHENG LEE, UNIVERSITÉ NATIONALE CHENG KUNG, TAÏWAN

STEVEN PEARCE

Ce conifère de 84,1 mètres attire les grimpeurs.

O. PROSICKY / BIA / BIOSPHOTO

Protégé par la proximité des habitats humains, le chacal doré poursuit son expansion en Europe occidentale.

Le chacal utilise l'humain pour faire barrage au loup

Afin de contrer ce prédateur, le chacal doré se concentre davantage près des zones habitées par notre espèce.

Jusqu'où ira le chacal doré ? Autrefois limité au sud-est de l'Europe, ce charognard opportuniste colonise, petit à petit, toute l'Europe de l'Ouest jusqu'en Scandinavie. Apparu en France en 2017, il y est promis à un bel avenir, car la quasi-totalité du territoire lui est favorable. Entre 2001 et 2017, une équipe de recherche a suivi cette expansion, surprenante pour un canidé de taille moyenne, sur près de 9000 sites, dans 13 pays européens. Résultat : c'est le loup, prédateur supérieur, qui limite la colonisation. Dans une étude publiée dans *Nature Ecology & Evolution,* les chercheurs décrivent cette interaction dans laquelle *Homo sapiens* intervient. Quand le chacal doré entre dans un territoire occupé par des loups, il se concentre en priorité près des zones habitées par l'humain. Celui-ci sert ainsi à son insu de « bouclier » contre le prédateur. *« Cela souligne que les activités humaines ne modifient pas seulement les habitats, mais aussi les interactions entre espèces à l'échelle continentale »*, en concluent les scientifiques. **L. C.**

Le haricot vert contre-attaque

BOTANIQUE Face à une attaque de chenilles, le haricot vert attire des guêpes qui parasitent ses agresseurs en émettant des substances chimiques volatiles, révèle une étude internationale menée au Mexique. Ce mécanisme fait aussi de la plante un véritable garde du corps pour le maïs et la courge, avec lesquels elle est traditionnellement cultivée, en contribuant à les protéger des ravageurs. **P. K.**

SOURCE : ADAM STEINBRENNER, UNIVERSITÉ DE WASHINGTON, ÉTATS-UNIS

Une nouvelle espèce de mini-pieuvre aux Galapagos

ZOOLOGIE Une pieuvre bleu violet de la taille d'une balle de golf vient d'être décrite dans les profondeurs des Galapagos. Nommée *Microeledone galapagensis,* cette nouvelle espèce n'est connue que par un unique spécimen, récolté à 1773 m de profondeur. Plus surprenant encore, elle appartient à une famille de pieuvres surtout présente dans les eaux froides proches de l'Antarctique, à des milliers de kilomètres des eaux tropicales où elle a été trouvée. **H. J.**

SOURCE : JANET VOIGHT, MUSÉE FIELD DE CHICAGO, ÉTATS-UNIS

VOIGHT ET AL.

Le petit poulpe des abysses tient dans la paume d'une main.

9 millions

Les tonnes de CO_2 de la Coupe du monde de football

POLLUTION Selon l'ONG Scientists for Global Responsibility, le gigantisme inédit de l'édition 2026 pourrait en faire la plus émettrice de CO_2 de l'histoire. Organisée dans trois pays, elle réunit 48 équipes et 104 matchs. Les déplacements en avion des équipes et des supporters représenteraient l'essentiel de son bilan carbone. **L. C.**

TRANSMETTRE L'ESPOIR DE VAINCRE LE CANCER

institut Curie

Léguer tout ou partie de ses biens à l'Institut Curie,
1er centre français de recherche en cancérologie,
est un formidable message d'espoir.

Agissez avec nos chercheurs pour les générations à venir.

LEGS – DONATION – ASSURANCE-VIE

curie.fr

POUR TOUT RENSEIGNEMENT : Institut Curie - direction des relations donateurs
26, rue d'Ulm - 75248 Paris CEDEX 05 - 01 56 24 55 34 - legs@curie.fr

institut Curie

DEMANDE DE DOCUMENTATION à compléter et à retourner sous enveloppe à l'adresse ci-dessus.

☐ **Je désire recevoir votre documentation sur les legs, donations et assurances-vie en faveur de l'Institut Curie.**

PLI CONFIDENTIEL, GRATUIT ET SANS ENGAGEMENT DE VOTRE PART.

☐ Mme ☐ M. Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : |_|_|_|_|_| Ville : ..... Tél. : |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| |_|_|

S&A0726

Les informations recueillies sur ce formulaire sont enregistrées dans un fichier informatisé par l'Institut Curie qui dispose d'un délégué à la protection des données : dpo@curie.fr. Elles sont destinées à la Direction des relations donateurs et aux tiers mandatés par l'Institut Curie à des fins de gestion interne, pour répondre à vos demandes et faire appel à votre générosité. L'Institut Curie s'engage à ne pas sortir les données en dehors de l'Union Européenne. Ces données peuvent faire l'objet d'un échange à des tiers du secteur caritatif, VPC ou presse. Vous pouvez vous y opposer en cochant la case ci-contre ❑
Conformément à la loi « informatique et libertés » et à la règlementation européenne, vous pouvez vous opposer à l'utilisation de vos données à caractère personnel. Vous pouvez également introduire une réclamation auprès de la CNIL. A tout moment, vous bénéficiez d'un droit d'accès à vos données pour leur rectification, limitation, portabilité ou effacement, en contactant : Direction des relations donateurs - 26 rue d'Ulm - 75248 Paris cedex 05. Tél : 01.56.24.55.66. Elles sont conservées pendant la durée strictement nécessaire à la finalité précitée.

Les anti-obésité enfin remboursés

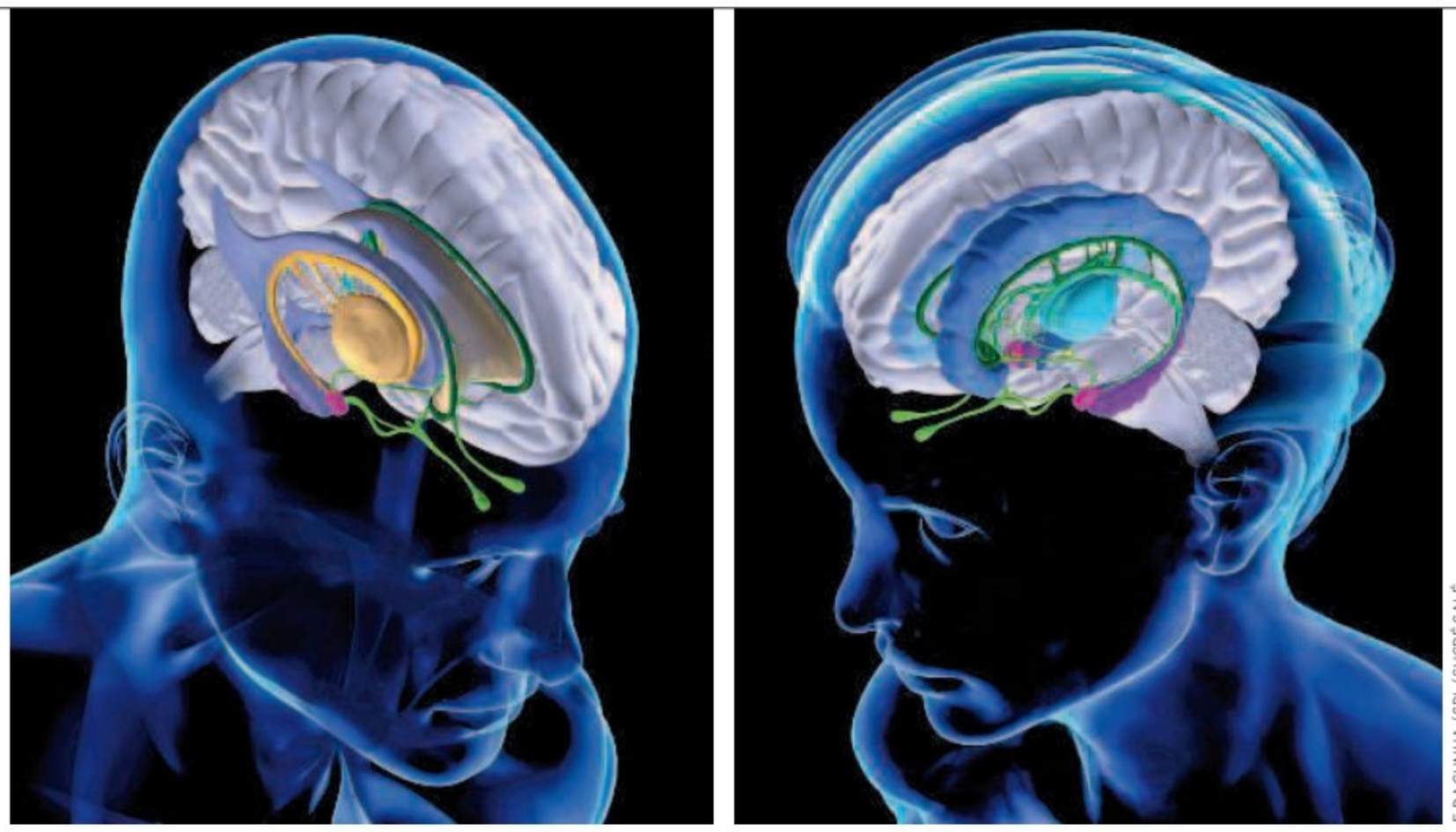
NUTRITION Stars de la nouvelle génération de traitements contre l'obésité, Wegovy et Mounjaro sont remboursés en France depuis le 15 juin. Ces médicaments agonistes du GLP-1, qui agissent en régulant la glycémie et en réduisant l'appétit, ont démontré une efficacité inédite pour perdre du poids ; et suscitent un engouement mondial depuis plusieurs années. Leur prise en charge sera toutefois limitée aux patients souffrant d'obésité sévère et intégrés à un parcours de soins encadré. **H. J.**

AFP

8 conservateurs nocifs pour le cœur

ÉPIDÉMIOLOGIE En analysant les habitudes alimentaires de plus de 112 000 participants de la cohorte NutriNet-Santé, des chercheurs ont identifié huit conservateurs (E202, E224, E250, E300, E301, E316, E330 et E392) associés à un risque accru d'hypertension et de maladies cardiovasculaires. De quoi relancer le débat sur les effets à long terme des additifs présents dans les aliments transformés. **H. J.**

SOURCE : MATHILDE TOUVIER, INSERM, FRANCE


F. DA CUNHA / SPL / SUCRÉ SALÉ

Les différences d'expression génétique entre les hommes et les femmes concernent surtout des gènes autosomiques, présents chez les deux sexes, et non ceux portés par les chromosomes X et Y.

Dans le cerveau, les gènes ont un sexe

L'analyse de tissus cérébraux humains féminins et masculins montre des différences d'activité pour plus de 3000 gènes.

Des milliers de gènes ne s'expriment pas de la même façon dans le cerveau des femmes et des hommes. Publiée dans *Science* par une équipe de l'Institut de la santé mentale américain (NIMH), cette étude pourrait aider à comprendre pourquoi certaines maladies neurologiques ou psychiatriques n'affectent pas les deux sexes avec la même fréquence.

« *Les données épidémiologiques et cliniques montrent depuis longtemps des différences marquées entre les sexes,* précise Alexandra DeCasien, du NIMH. *Les garçons sont davantage diagnostiqués avec certains troubles du neurodéveloppement comme l'autisme, tandis que les femmes sont plus souvent touchées par la maladie d'Alzheimer* », ajoute la neuroscientifique. Mais les mécanismes biologiques à l'origine de ces écarts restaient toutefois mal compris.

Adapter les traitements au profil biologique

Pour les explorer, les chercheurs ont analysé l'expression génétique cellule par cellule dans plusieurs régions cérébrales humaines. Cette approche leur a permis de mesurer l'activité de milliers de gènes dans différents types cellulaires et de comparer ces données à un génome humain de référence. Ils ont ainsi identifié plus de 3000 gènes dont l'activité varie selon le sexe dans au moins une région du cerveau. Parmi eux, 133 se distinguent : leur expression suit toujours la même tendance, quelle que soit la région cérébrale étudiée. Fait notable, les différences observées concernent surtout des gènes autosomiques, présents chez les deux sexes, et non ceux portés par les chromosomes X et Y. « *Beaucoup de ces gènes sont régulés par les hormones sexuelles et pourraient influencer les différences observées entre hommes et femmes dans les maladies psychiatriques, neurologiques et d'autres troubles cérébraux* », souligne Alexandra DeCasien.

Ces résultats ouvrent une nouvelle piste pour comprendre les inégalités de risque face à certaines maladies et pourraient, à terme, aider à mieux adapter les traitements aux caractéristiques biologiques des patients. ■ **M. P.**

GETTY IMAGES

La psilocybine contre la cocaïne

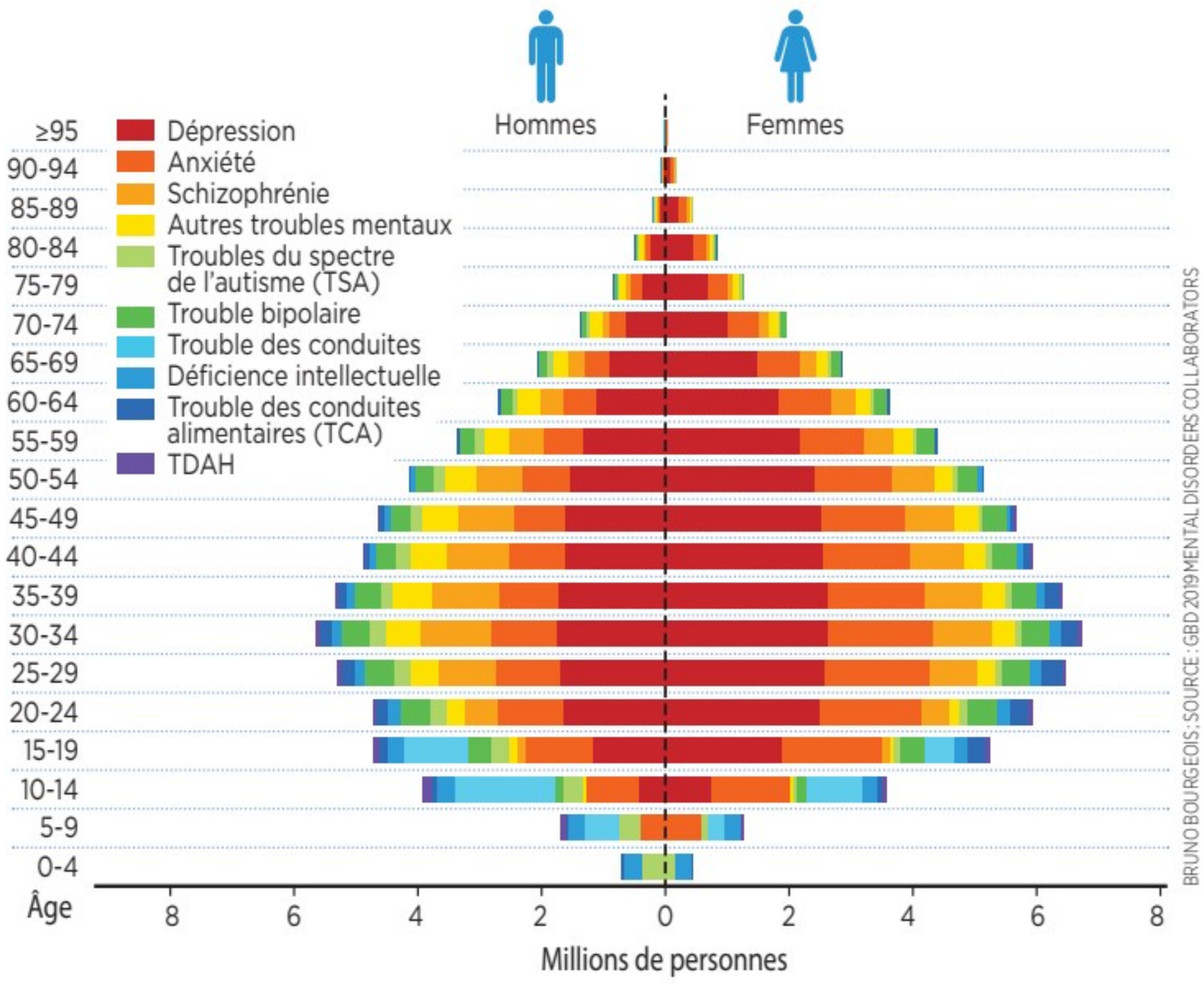
PSYCHIATRIE Une seule dose de psilocybine, un psychédélique présent dans les champignons hallucinogènes et qui augmente la plasticité cérébrale, suffit pour aider à rompre la dépendance à la cocaïne, avec une psychothérapie adaptée, selon une étude américaine. Six mois après la prise du produit, presqu'aucun participant n'avait rechuté. **P. K.**

SOURCE : RICHARD SHELTON, UNIVERSITÉ JOHNS-HOPKINS, ÉTATS-UNIS

Freiner les lésions de la moelle épinière

NEUROSCIENCES Chez la souris, une injection intraveineuse administrée dans les heures suivant une lésion de la moelle épinière réduit les dommages secondaires liés à l'accumulation de glutamate après le traumatisme. Deux mois plus tard, les souris ont retrouvé jusqu'à 80 % de leurs capacités motrices, contre 30 % chez les témoins. **H. J.**

SOURCE : JOSEF LEVIN, UNIVERSITÉ DE TEL-AVIV, ISRAËL



BRUNO BOURGEOIS ; SOURCE : GBD 2019 MENTAL DISORDERS COLLABORATORS

Panorama mondial de la santé mentale

PSYCHIATRIE Plus d'un milliard de personnes dans le monde souffraient en 2021 d'un trouble mental, neurologique ou lié à l'usage de substances, selon une vaste analyse publiée dans *The Lancet*. Le poids de ces maladies atteint son maximum chez les jeunes adultes. Dépression et troubles anxieux en représentent la plus grande part, en particulier chez les femmes, tandis que les troubles du neurodéveloppement, comme le TDAH ou l'autisme, pèsent davantage chez les hommes et les plus jeunes. **C. L.**

IL A DIT

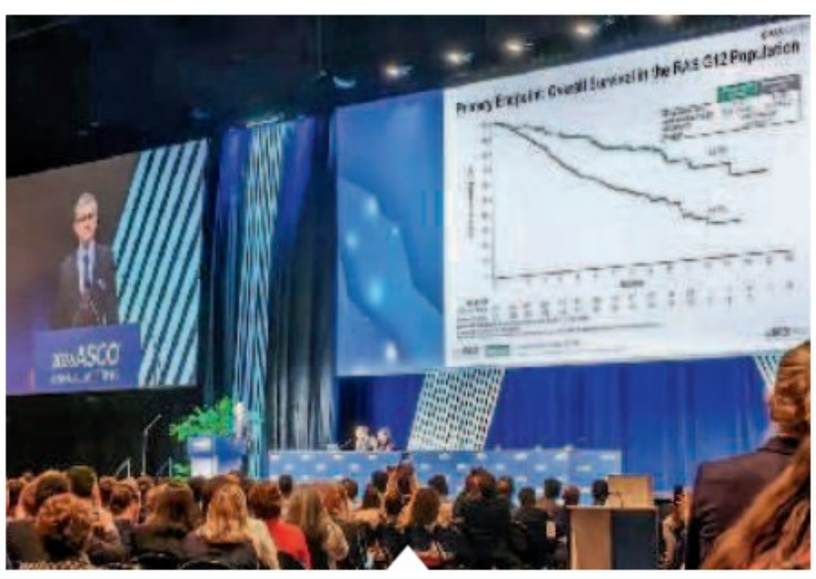
« Un collyre à base d'atropine serait un atout pour le traitement de la myopie chez les enfants »

Augusto Azuara-Blanco, professeur d'ophtalmologie à Belfast (Royaume-Uni), après avoir montré qu'à faible dose, ce médicament ralentit l'allongement du globe oculaire, principal moteur de la myopie.

Une avancée majeure dans le traitement du cancer du pancréas

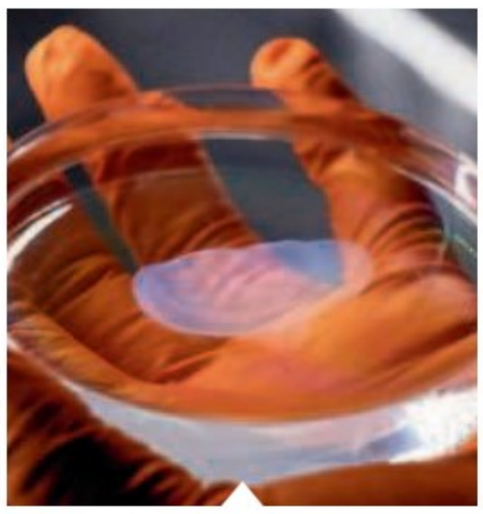
Un traitement innovant a permis de doubler la survie de patients atteints d'un cancer du pancréas métastatique.

Une *standing ovation* pour un essai clinique sur le cancer du pancréas : la scène est assez rare pour avoir marqué le congrès mondial d'oncologie Asco 2026, qui s'est tenu du 29 mai au 2 juin à Chicago (États-Unis). Présentés par une équipe du Memorial Sloan Kettering Cancer Center, les résultats du daraxonrasib montrent que ce traitement ciblé a permis à des patients atteints d'un cancer du pancréas métastatique — et porteurs d'une mutation Kras G12C — de vivre 13,2 mois en meilleur état de santé que les 6,6 mois avec un traitement classique. Ce cancer reste l'un des plus meurtriers, avec une survie à 5 ans inférieure à 15 % lorsqu'il est diagnostiqué à un stade avancé. Le daraxonrasib s'attaque à la protéine Kras, longtemps considérée comme impossible à cibler par des médicaments. Si la mutation G12C ne concerne qu'une faible proportion des malades, ce résultat a été qualifié de spectaculaire à l'Asco. **H. J.**



HEBER REYER.X

Le résultat du daraxonrasib a été présenté comme l'une des plus notables avancées de ces dernières années.



2026 LAPD EPFL

Modèle d'oreille humaine imprimé dans une résine photosensible.

Des hologrammes pour fabriquer des implants

INGÉNIERIE Une nouvelle technique d'impression 3D permet de créer un objet presque instantanément à l'intérieur d'une résine photosensible. Des hologrammes guident la lumière pour solidifier la matière uniquement aux endroits souhaités, sans construction couche par couche. Cette approche pourrait faciliter la fabrication de tissus bio-artificiels ou d'implants biomédicaux. **H. J.**

SOURCE : CHRISTOPHE MOSER, ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE, SUISSE

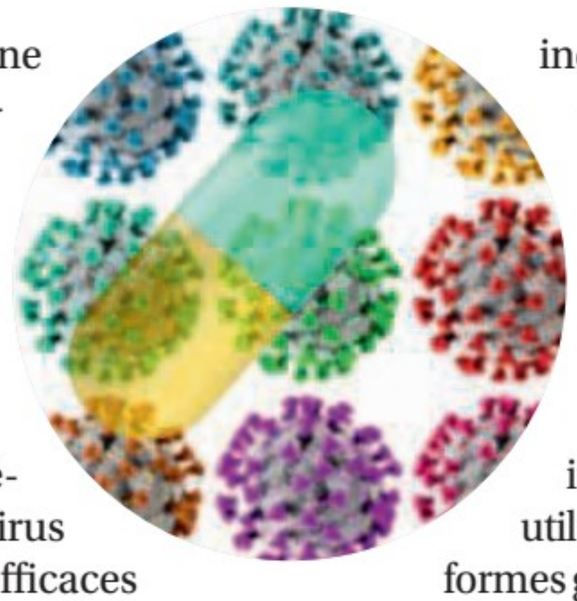
La polyarthrite prise de vitesse

RHUMATOLOGIE En bloquant l'activation de cellules immunitaires, un médicament déjà utilisé contre certaines formes de polyarthrite rhumatoïde pourrait empêcher l'apparition de cette maladie chez des patients à risque. Dans un essai clinique espagnol, l'abatacept a réduit de 50 % à 20 % le risque de développer cette maladie auto-immune marquée par des poussées inflammatoires intermittentes. **H. J.**

SOURCE : RAIMON SANMARTI, HÔPITAL CLINIQUE DE BARCELONE, ESPAGNE

Covid-19 : un antiviral bloque la contamination

Grâce à l'ensitrelvir, le risque de tomber malade est divisé par trois.



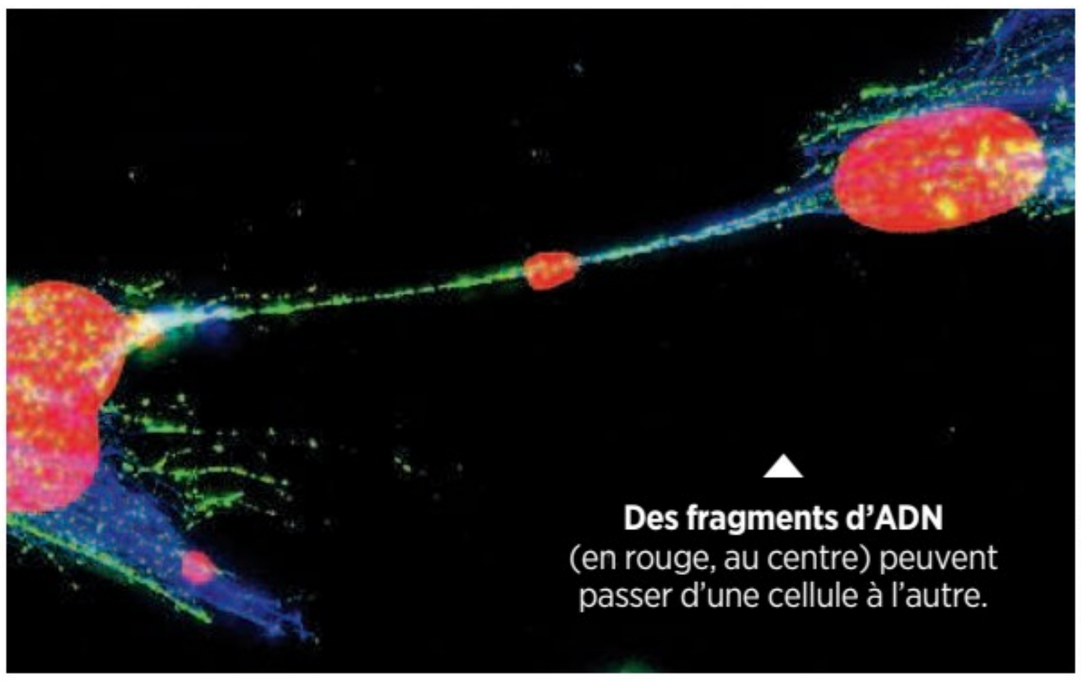
GARO/PHANIE

Les proches d'une personne déclarant un Covid-19 peuvent fortement limiter le risque d'attraper la maladie en prenant un antiviral, l'ensitrelvir, pendant cinq jours, selon une étude sponsorisée par son fabricant japonais. Jusqu'à présent, les antiviraux contre le virus Sras-CoV-2 s'étaient avérés efficaces chez les malades mais pas en prévention. En prenant l'ensitrelvir dans les trois jours où la maladie s'est déclarée dans un foyer, le risque de tomber malade est divisé par trois, révèle l'étude. Le produit ne présente pas d'effets indésirables et agit en bloquant spécifiquement une enzyme du virus. Déjà commercialisé au Japon pour réduire les symptômes de la maladie, il est désormais aussi autorisé dans le pays pour prévenir les infections. Cette nouvelle indication sera particulièrement utile pour les personnes à risque de formes graves du Covid-19 qui doivent côtoyer une personne déjà malade. L'enjeu est important car le Sras-CoV-2 continue de circuler et reste responsable de plus de 10 000 décès par an rien qu'aux États-Unis, selon le Centre de contrôle des maladies américain. **P. K.**

L'ADN endommagé peut se propager entre les cellules

GÉNOMIQUE **Pour la première fois, des chercheurs ont observé que des fragments d'ADN endommagé peuvent voyager d'une cellule humaine à l'autre. Ces morceaux de génome empruntent de fins nanotubes reliant des cellules voisines. Plus surprenant, cet ADN reste fonctionnel après son transfert. L'étude suggère ainsi que des mutations ou des résistances aux traitements pourraient, dans certains cancers, se propager entre les cellules. Une hypothèse qui reste à confirmer chez les patients. H. J.**

SOURCE : ELIZABETH MAURAIS, UNIVERSITÉ DU TEXAS, ÉTATS-UNIS



PETER LY/EG MAURAIS ET AL.

▲ **Des fragments d'ADN** (en rouge, au centre) peuvent passer d'une cellule à l'autre.

Un deuxième réseau découvert dans le cerveau

NEUROSCIENCES Longtemps considérés comme de simples cellules de soutien, les astrocytes, qui représentent environ la moitié du volume cérébral, forment en réalité leurs propres réseaux, distincts de ceux des neurones, révèlent des chercheurs américains. Très diversifiés, ces circuits relient parfois des régions non connectées par des neurones et se réorganisent selon l'activité cérébrale. Certains s'étendent même aux deux hémisphères, suggérant qu'une atteinte localisée pourrait avoir des effets plus vastes qu'attendu. **P. K.**

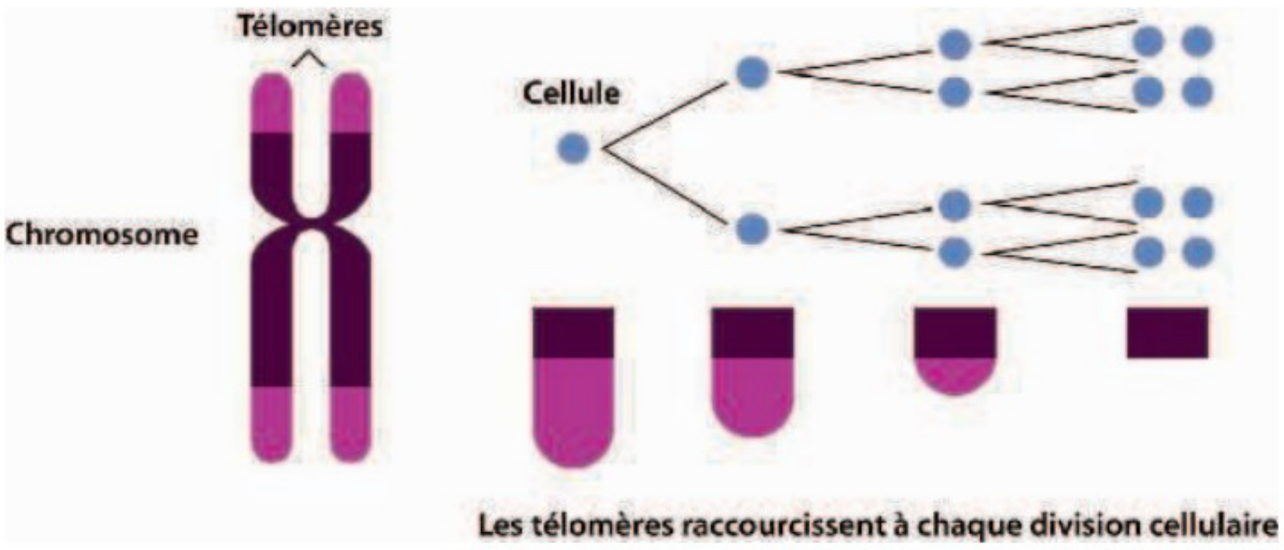
SOURCE: MELISSA COOPER, UNIVERSITÉ DE NEW YORK, ÉTATS-UNIS

PUBLICITÉ

PHYTO RESEARCH

Télomères et longévité

Le mot télomère vient du grec telos (fin) et meros (partie).



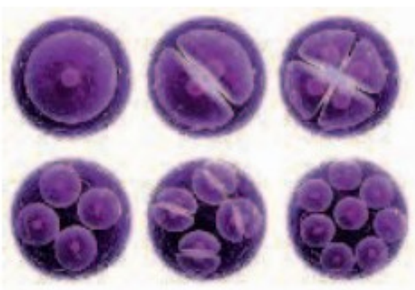
Les télomères raccourcissent à chaque division cellulaire

En 2009, trois chercheurs américains se sont vu décerner le Prix Nobel de Médecine pour leurs travaux exceptionnels en biologie et génétique, qui ont permis la compréhension des mécanismes de protection de l'ADN au cœur des cellules.

Genèse d'une découverte

Dans les années 80, Elizabeth Blackburn est professeur de biologie à l'Université de Californie. Elle collabore avec Carol Greider, professeur de biologie moléculaire et Jack Szostak, professeur de génétique, afin d'étudier les mécanismes de protection et de réparation des chromosomes lors de la mitose cellulaire. Leurs travaux cherchent à expliquer comment les divisions cellulaires successives peuvent s'enchaîner sans que les chromosomes ne fusionnent entre eux ou ne s'abiment.

Mitose cellulaire et réplication des chromosomes



Les cellules de l'organisme se reproduisent régulièrement par un processus de division appelé mitose, la cellule initiale se scindant en deux cellules filles identiques qui contiennent le même matériel génétique. Il se produit pas moins de deux trillions de mitoses dans le corps humain chaque jour, ce qui permet de remplacer les cellules mortes ou abimées. Ce grand nombre fait supposer la survenue d'erreurs, c'est pourquoi les chercheurs ont émis l'hypothèse d'un système de protection des chromosomes.

Deux découvertes en une : télomères et télomérase

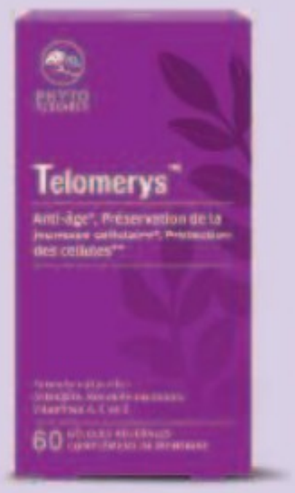
Situés aux extrémités de chaque chromosome, les télomères jouent un rôle de protection au moment de la séparation du matériel génétique. En effet à chaque division, ils raccourcissent légèrement, « sacrifiant » leur intégrité pour protéger celle des chromosomes. Le raccourcissement progressif des télomères finit par déclencher la fin du cycle de reproduction de la cellule, appelé sénescence. Les trois scientifiques ont également identifié une enzyme, baptisée télomérase, capable de rallonger les télomères et donc de prolonger la vie des cellules. Ils ont remarqué que cette enzyme n'était active que dans les cellules souches et germinales. Plus le nombre de de cellules sénescentes est grand, plus le vieillissement de l'organisme accélère : la longévité est donc directement liée à la longueur des télomères.

ASTRAGALE ET TÉLOMÈRES

Des scientifiques se sont intéressés à la racine de l'Astragalus membranaceus, une petite fleur très utilisée en médecine traditionnelle comme tonifiant et immunostimulant. Ils ont mis en évidence que ses propriétés étaient dues à deux composés, appelés cycloastragenol et astragaloside IV, qui avaient la capacité de réactiver la télomérase dans les cellules. Après plusieurs années de développement, le laboratoire français PhytoResearch a mis au point une formule naturelle basée sur les résultats de ces avancées scientifiques. **Telomerys** associe un extrait concentré de racine d'Astragalus membranaceus à du resvératrol, un puissant antioxydant, ainsi que des vitamines A, C et E. Formule anti-âge inédite, deux gélules par jour suffisent pour constater une diminution significative des rides, une amélioration des fonctions cognitives (mémoire, concentration) et un regain d'énergie.

Telomerys™

Préservation de la jeunesse cellulaire



Disponible en pharmacie

Telomerys 60 gélules végétales est disponible grâce au code ACL 602 42 56

Livraison à domicile

Passez votre commande au **01 85 12 12 48** et sur www.vitalco.com

Telomerys™ est sélectionné et distribué par Vitalco.

RENÉ MATTES/HEMIS.FR

Les différentes fréquences de vibration du monument limitent l'amplification des secousses.

Le secret antisismique de la Grande Pyramide

Des capteurs installés dans et autour de la pyramide de Khéops, en Égypte, ont révélé une architecture étonnamment résistante face aux secousses.

Haute de 139 mètres aujourd'hui, la pyramide de Khéops domine le plateau de Gizeh depuis près de 4500 ans. Malgré les nombreux tremblements de terre qui ont affecté l'Égypte au cours des siècles, le monument a traversé les millénaires sans dommages majeurs. Une étude publiée dans la revue *Scientific Reports* apporte aujourd'hui un éclairage inédit sur cette robustesse. Pour comprendre comment l'édifice réagit aux secousses, des sismologues égyptiens ont installé des capteurs à de nombreux endroits dans et autour de la pyramide. Ces instruments ont enregistré les microvibrations naturelles produites en permanence par le vent, l'activité humaine ou les mouvements du sous-sol afin de déterminer les fréquences de résonance du monument.

Les résultats montrent que la pyramide possède des fréquences naturelles de vibration allant de 2 à 2,6 hertz, tandis que le socle rocheux environnant vibre autour de 0,6 hertz. Une différence qui limite les phénomènes de résonance susceptibles d'amplifier les secousses.

Le rôle insoupçonné des chambres de décharge

Les mesures révèlent aussi un rôle inattendu des chambres dites « de décharge », situées au-dessus de la chambre du roi. Connues pour répartir le poids colossal des blocs supérieurs, elles semblent aussi contribuer à atténuer certaines vibrations à l'intérieur de l'édifice.

Selon les auteurs, plusieurs caractéristiques expliquent cette stabilité : une base très large, une géométrie symétrique, un centre de gravité bas et une implantation sur un substrat calcaire stable. L'assemblage de 2,3 millions de blocs pourrait également dissiper une partie de l'énergie transmise par les tremblements de terre.

Si l'étude montre que la pyramide présente des caractéristiques architecturales la rendant résistante aux séismes, il est probable que ces propriétés ne résultent pas d'un choix délibéré des bâtisseurs. Quoi qu'il en soit, elles contribuent à expliquer pourquoi le plus célèbre monument de l'Égypte ancienne a si bien résisté à l'épreuve du temps. ■ **H. J.**

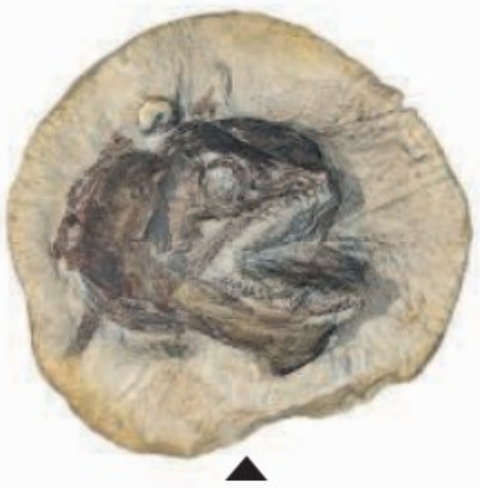
Un « T. rex des mers » identifié

PALÉONTOLOGIE L'emblématique dinosaure n'est plus le seul à être appelé *T. rex.* Des paléontologues viennent d'attribuer le nom de *Tylosaurus rex* à un mosasaure géant qui régnait sur les mers il y a 80 millions d'années. Long de plus de 13 m, ce redoutable reptile marin partage désormais ses initiales avec *Tyrannosaurus rex*. Les fossiles révèlent un animal particulièrement agressif, marqué par de violents combats. **A.-S. T.**

SOURCE : AMELIA ZIETLOW, AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY

Un fossile de poisson en 3D

NUMÉRISATION Déjà exceptionnel par son état de conservation, ce fossile de poisson jurassique semble jaillir de la roche en trois dimensions. Découvert au Royaume-Uni et présenté en 2022, ce spécimen du genre *Pachycormus* vient d'être numérisé et mis en ligne sous forme de modèle 3D interactif (sciav.fr/953foss). Le public peut désormais le faire pivoter, zoomer ou observer ses détails anatomiques comme s'il l'avait entre les mains. Une façon inédite d'explorer ce témoin des océans vieux de 183 millions d'années. **H. J.**



NEVILLE AND SALLY HOLLINGWORTH

Le spécimen est âgé de 183 millions d'années.

ÇA FAIT DU BIEN DE TOURNER LA PAGE

INFORMER. DIVERTIR. APPROFONDIR.

PRIX RELAY-SEPM DES **MAGAZINES** DE L'ANNÉE 2026

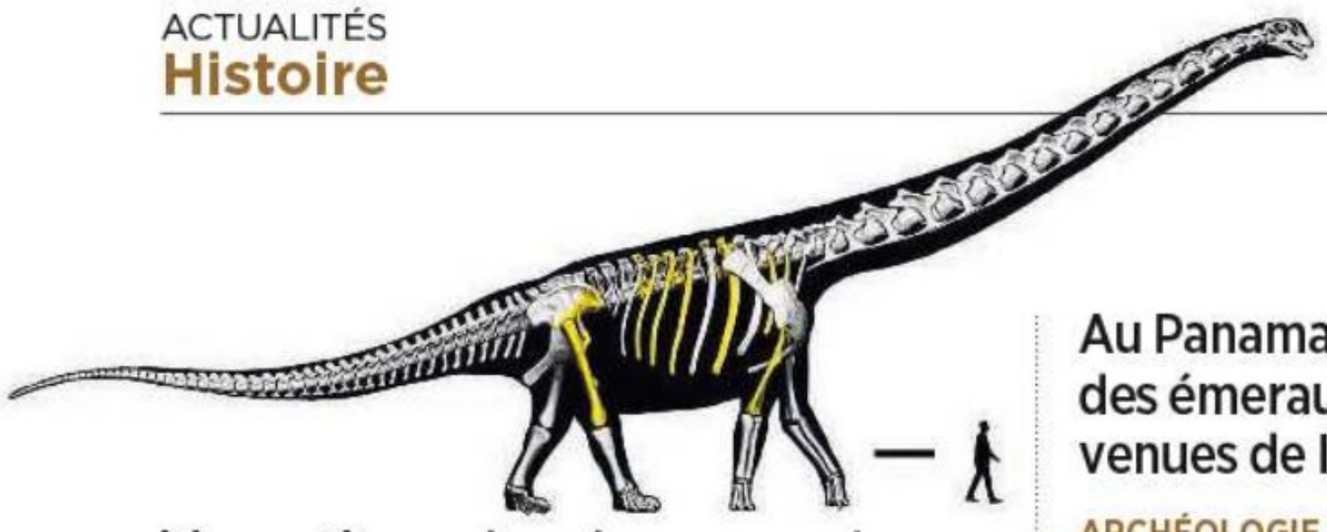
RELAY

sepm SYNDICAT DES ÉDITEURS DE LA PRESSE MAGAZINE

LES MAGAZINES DE L'ANNÉE 2026

Découvrez chez RELAY les **magazines** de l'année.

Madame Bovary



T. SETHAPANICHSAKUL ET AL.

Nagatitan, le plus grand des dinosaures asiatiques

PALÉONTOLOGIE Quelques os fossilisés découverts en Thaïlande *(en jaune sur la reconstitution ci-dessus)* ont suffi à révéler une nouvelle espèce de sauropode géant, baptisée *Nagatitan chaiyaphumensis,* qui vivait il y a près de 94 millions d'années. Long d'environ 27 mètres pour 27 tonnes, il serait le plus grand dinosaure connu d'Asie du Sud-Est. Son nom rend hommage aux nagas, les serpents mythiques des traditions locales. **H. J.**

SOURCE : PAUL UPCHURCH, UNIVERSITY COLLEGE LONDON, ROYAUME-UNI

L'enfer des baleiniers arctiques

HISTOIRE Une étude de 20 squelettes de baleiniers du XVIIe siècle confirme que le scorbut était fréquent dans l'Arctique. Exhumés à Likneset (« La pointe des cadavres »), au Svalbard (Norvège), ces restes portent aussi les traces d'un travail très éprouvant : traumatismes et forte usure des articulations. Ils proviennent d'un cimetière qui abriterait près de 600 chasseurs de baleines européens, aujourd'hui menacé par le dégel du pergélisol. **H. J.**

SOURCE : LISE LOKTU, INSTITUT NORVÉGIEN DE RECHERCHE SUR LE PATRIMOINE CULTUREL

Au Panama, des émeraudes venues de loin

ARCHÉOLOGIE Des émeraudes colombiennes circulaient déjà jusqu'au Panama entre les VIIIe et Xe siècles. En analysant cinq pierres vertes découvertes dans les tombes d'élites locales, des chercheurs ont confirmé qu'il s'agissait bien d'émeraudes extraites en Colombie, à plus de 700 km de là. L'une d'elles était associée à une figurine en cuivre. Cette découverte apporte la première preuve directe d'échanges à longue distance de ces pierres précieuses en Amérique centrale avant l'arrivée des Européens. **H. J.**

SOURCE : HECTOR MIRANDA, UNIVERSITÉ TECHNOLOGIQUE DU PANAMA

TORNÉ ET AL. 2026

Figurine en cuivre de 8 cm ornée d'une émeraude colombienne.

Neandertal allait chez le dentiste

Une molaire vieille de 59 000 ans suggère qu'un néandertalien a subi une forme de soin dentaire complexe

Un néandertalien souffrant d'une grave infection dentaire aurait subi une forme de « dévitalisation artisanale ». C'est ce que suggère l'étude d'une molaire vieille de 59 000 ans, découverte dans la grotte de Chagyrskaya, en Sibérie (Russie). Les chercheurs de l'Académie des sciences de Russie ont identifié une cavité profonde dont les parois portent des traces compatibles avec un forage réalisé à l'aide d'un outil de pierre. Pour en avoir le cœur net, ils ont reproduit ces marques sur des dents humaines modernes à l'aide de pointes en silex similaires à celles retrouvées sur le site. Selon eux, l'objectif était probablement de retirer les tissus infectés pour soulager la douleur. Mieux encore : l'usure de la dent montre que son propriétaire a survécu à l'intervention et a continué à l'utiliser. Si cette interprétation est correcte, il s'agirait de la plus ancienne preuve connue de soin dentaire complexe, plus de 40 000 ans avant les premiers « dentistes » attestés. **H. J.**

ZUBOVA ET AL

Trouvée en Russie, la molaire infectée avait fait l'objet de soins dentaires.

IL A DIT

« Je n'arrive pas à croire que nous ayons pu obtenir de telles informations à partir d'excréments d'écureuil »

Tyler Murchie, paléogénéticien à l'université McMaster (Canada), auteur d'une étude ayant permis d'extraire de l'ADN de mammouths, de loups, de bisons et de centaines de plantes à partir d'excréments vieux de 3000 à 700 000 ans trouvés dans des terriers d'écureuils du Yukon.

SCIENCES ET AVENIR

N°1

DE LA PRESSE SCIENCE EN DIFFUSION

ÉLU MAGAZINE PASSION

LES MAGAZINES DE L'ANNÉE 2026

RELAY sepm

168 610
EXEMPLAIRES
(ACPM 2025)

1,9 M
DE LECTEURS
(ACPM ONENEXT S1 2026)

MERCI À TOUS NOS LECTEURS !

MEDIAOBS
IMPACT & AUDIENCE

ANTOINE MOREAU DUSAULT POUR SCIENCES ET AVENIR

L'IA qui s'autoréplique à la chaîne

Les grands modèles de langage sont capables d'identifier et d'exploiter une faille de cybersécurité pour pénétrer dans un serveur et s'y copier.

Cela ressemble à un scénario de science-fiction, une intelligence artificielle qui s'autoréplique d'un appareil à l'autre, sans intervention humaine. C'est pourtant ce qu'ont observé trois chercheurs de l'ONG américaine Palisade Research, située à Berkeley (États-Unis) et spécialisée dans les risques liés à l'IA. Leur étude, encore non relue par les pairs, montre que les grands modèles de langage (LLM) sont capables d'identifier et d'exploiter une faille sur un serveur pour y pénétrer, puis s'y copier. Une première selon eux. D'autres travaux avaient déjà montré la faculté de l'IA à s'autorépliquer, mais sans le piratage d'un système au préalable.

Les chercheurs ont placé l'IA dans un environnement logiciel en autonomie, avec tous les outils nécessaires pour réussir sa tâche. Elle n'a reçu qu'une seule instruction renseignant l'adresse de sa cible et son objectif. Sur les 48 essais où Qwen 3.6 27B, en accès libre, est parvenu à accéder au serveur, il a produit une réplique opérationnelle dans un tiers des cas. La copie peut alors se dupliquer à son tour sur un autre système, car le LLM clone à la fois ses données, ses consignes et les programmes requis pour répéter le processus.

« Qwen 3.6-27B s'est propagé en chaîne sur quatre machines réparties sur trois continents, en exploitant une vulnérabilité différente à chaque étape, à partir d'une seule commande et sans aucune intervention humaine », notent les chercheurs. Un tel outil représente une véritable menace en matière de cybersécurité. D'autant que Qwen 3.6-27B n'a besoin que d'une unique puce Nvidia A100, au coût d'utilisation négligeable, pour fonctionner.

27
milliards
Le nombre de paramètres internes appris par Qwen 3.6 27B.

« Leur travail est intéressant, mais ce n'est pas très réaliste », tempère Jean-Yves Marion, professeur à l'université de Lorraine et directeur du projet Defmal, qui vise à renforcer nos capacités de cybersécurité. Le chercheur doute que l'autoréplication d'un LLM, qui représente des dizaines, voire des centaines de gigaoctets de données, passe sous les radars. Les auteurs de l'étude reconnaissent que les serveurs cibles de l'expérience étaient particulièrement vulnérables par rapport aux standards actuels.

Des IA pirates de plus en plus autonomes

Le déploiement d'une IA pour réaliser une cyberattaque de bout en bout n'en est pas moins un sujet pris au sérieux et étudié. *« On a commencé à s'y intéresser il y a deux ans, quand il y avait très peu de publications ; aujourd'hui elles sont nombreuses »*, relate Jean-Yves Marion. À travers le projet « Godzilla » en collaboration avec les start-up Sesame IT et Cyber-Detect, il travaille à la conception d'un agent IA capable d'accéder à un système et d'y accomplir un objectif, comme voler des données. *« Nous essayons de réduire sa taille au maximum, pour qu'il reste le moins visible possible pendant l'attaque »*, ajoute-t-il. De cette façon, le chercheur et son équipe explorent le potentiel offensif d'un agent IA autonome. Une première étape nécessaire pour comprendre cette menace et concevoir des défenses adaptées. ■

Théo Brajard

GOOGLE

L'IA de Google pourra gérer une succession de tâches à la demande.

Gemini prend les commandes de nos smartphones

AGENTIVITÉ Le 12 mai, Google a dévoilé Gemini Intelligence, une mise à jour qui marque l'arrivée de l'IA agentique dans les smartphones Android. Gemini peut désormais interagir avec des applications afin d'automatiser une tâche, par exemple passer une commande à partir d'une liste de courses ou organiser un voyage. Son déploiement débutera cet été sur une poignée de smartphones haut de gamme, aux États-Unis et en Corée du Sud. **T. B.**

44 % La part des morceaux de musique générés par IA

Sur Deezer, près de la moitié des mises en ligne (plus de 2 millions de morceaux chaque mois) sont produites par des IA. Mis à l'écart par la plateforme de streaming, ces titres représentent néanmoins entre 1 et 3 % des écoutes.

Quand la plume de l'IA bat celle des humains

ÉCRITURE ChatGPT et Claude imitent-ils mieux le style d'un écrivain qu'un humain ? L'étude de deux chercheurs des universités de Stony-Brook et du Michigan va dans ce sens. Ils ont soumis à 28 experts, titulaires d'un master en écriture littéraire, des textes censés reproduire le style d'un auteur sans préciser si la plume à leur origine est humaine ou artificielle. Il en ressort que si l'IA a été entraînée avec les manuscrits de l'écrivain, 62 % du jury préfère sa proposition à celle des humains. **T. B.**

SHUTTERSTOCK

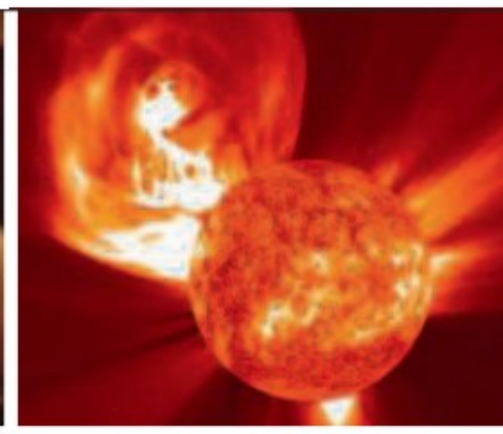
BRUNO LÉVY

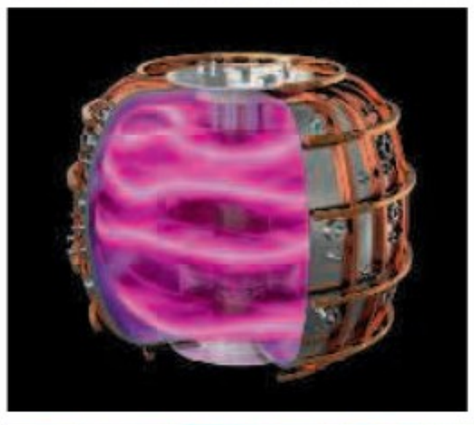
LA CHRONIQUE DE
JEAN-GABRIEL GANASCIA*

Mythos, ethos, pathos...

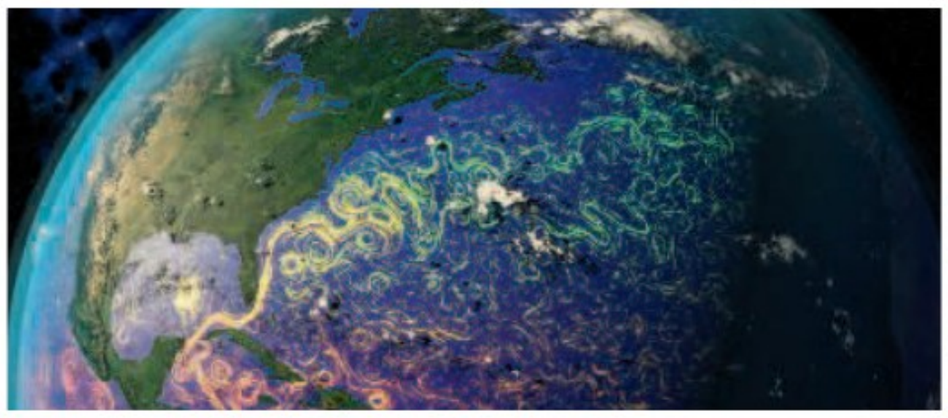
Annonce bien singulière que celle de la sortie de Mythos, le LLM d'Anthropic : au lieu de vanter ses qualités pour en assurer la promotion, ses concepteurs nous en content les maléfices. Mythos détecterait mieux que quiconque des failles de sécurité inédites dans les codes informatiques sources et les exploiterait. Des cybercriminels pourraient en profiter pour ruiner l'édifice du numérique en s'introduisant partout, et déceler des secrets bancaires, voire militaires, au risque d'exercer un chantage nucléaire… Or, rien, pour l'instant, ne prouve cette dangerosité exceptionnelle. Quasiment personne, à l'exception des ingénieurs d'Anthropic, ne l'a testé. Et pour cause, il est réservé à quelques titans du Web comme Google, Microsoft, Amazon ou Nvidia, sauf, exclusions notables, Meta et OpenAI — principaux concurrents d'Anthropic — qui n'y ont pas eu droit. Qui plus est, d'autres LLM, comme Opus 4.6, découvrent déjà des vulnérabilités dans les systèmes informatiques. Ajoutons à cela que la cybersécurité passe toujours par le recensement des failles afin de les corriger. Dès lors, loin de constituer un danger, Mythos pourrait tout aussi bien aider à renforcer la sécurité des systèmes. Du reste, en dépit du conflit juridique qui oppose Dario Amodei, le P-DG d'Anthropic, à la présidence des États-Unis, celle-ci encourage désormais les grandes banques américaines et le Pentagone à tester Mythos, pour le maîtriser. La rhétorique antique reposait sur trois piliers : l'*ethos* (la réputation), le *pathos* (l'émotion suscitée) et le *logos* (les arguments rationnels). Aujourd'hui, pour convaincre, les deux premiers piliers restent valides, mais on préfère remplacer le logos par le mythe ou, plus exactement, par le Mythos… ■

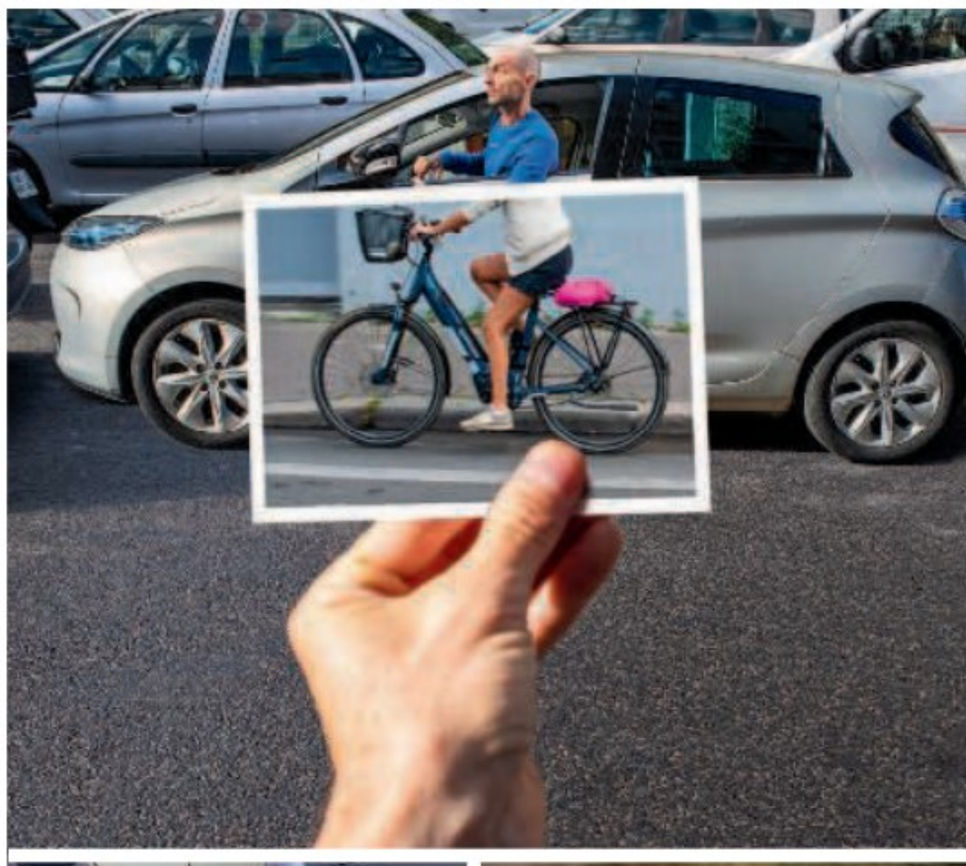
* **Professeur à Sorbonne Université,** à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS), ex-président du comité d'éthique du CNRS. Dernier ouvrage publié : *L'I.A. expliquée aux humains*, Seuil, 2024.





La Manche
Océan Atlantique
BREST
QUIMPER
PONTIVY
LORIENT
VANNES
CARNAC
SAINT BRIEUC
GUERANDE EN MER





Les 25 scénarios qui changent tout

Et si…

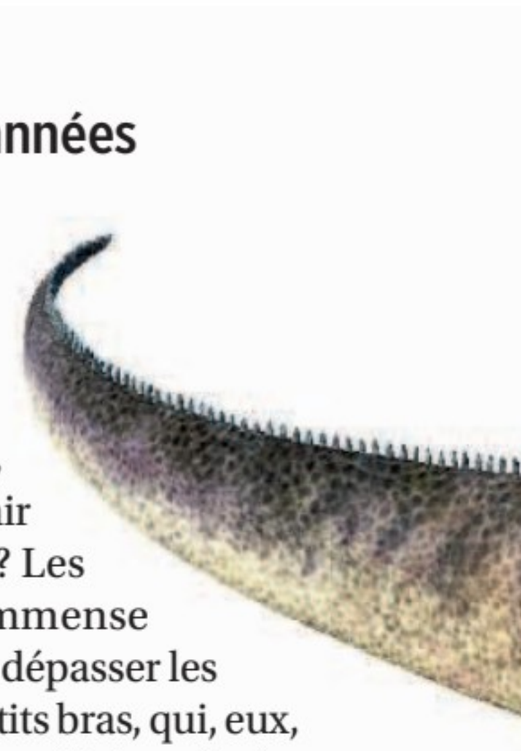
Et si… toutes les glaces fondaient… Et si… tous les cancers étaient guéris… Et si… on faisait revivre des espèces disparues… Qui n'a jamais rêvé d'imaginer un futur différent, d'explorer des scénarios parallèles pour s'extraire d'un présent pas toujours réjouissant ? Dans ce dossier d'été, les hypothèses les plus folles sont explorées à l'aune des recherches scientifiques les plus abouties.

Dossier réalisé par
la rédaction

ET SI...

Les dinosaures n'avaient jamais disparu

Sans l'impact de l'astéroïde géant qui a frappé la Terre il y a 66 millions d'années et provoqué l'extinction de 75 % des espèces, une autre biodiversité aurait vu le jour... probablement sans nous.



À la fin du crétacé, un énorme astéroïde se dirige vers la Terre. Le bolide, d'une quinzaine de kilomètres de diamètre, se trouve propulsé, dévié, accéléré par les planètes de ce gigantesque billard cosmique qu'est le Système solaire. Et il finit par heurter la planète, au niveau de la péninsule du Yucatán, au sud-est du Mexique, provoquant le cratère de Chicxulub. Dans notre histoire, cet impact déclenche un effondrement global des écosystèmes : raz-de-marée planétaires, obscurcissement de l'atmosphère, chute de la photosynthèse et disparition de près de 75 % des espèces vivantes, dont celles de tous les dinosaures non aviens. Mais que se serait-il passé si le tueur cosmique avait dévié de quelques centaines de kilomètres ?

À cette période, juste avant l'impact, les sites de fossiles tout autour du globe révèlent des faunes structurées et diversifiées avec des herbivores abondants et des prédateurs plus spécialisés. Les réseaux trophiques sont en place, stables à l'échelle des temps géologiques. Et, dans ce monde, les dinosaures sont partout : des hadrosaures brouteurs aux tyrannosaures carnivores, en passant par les petits théropodes à plumes proches des oiseaux. Ils ont occupé une grande diversité de niches écologiques pendant plus de 150 millions d'années et continuent à se déployer autour du globe, sans indice apparent de perte de vitesse, comme le suggéraient d'anciennes études.

Les dinosaures aviens, eux, sont déjà bien installés et se divisent en deux groupes : les énantiornithes, caractérisés par des becs équipés de dents ; et les néornithes, dotés d'une anatomie plus proche de celle des oiseaux actuels. Seul le second groupe survivra à la catastrophe, mais le succès des oiseaux indique que la lignée des dinosaures restait capable d'innovations morphologiques, écologiques et comportementales.

Une probable diversification morphologique

Rien n'interdit alors d'imaginer que, sans catastrophe, d'autres groupes de dinosaures non aviens auraient suivi des trajectoires similaires, en se spécialisant davantage ou en « inventant » de nouveaux équipements anatomiques. En Amérique du Nord, les tyrannosaures, engagés dans une course au gigantisme, auraient-ils pu devenir encore plus grands ? Les descendants de l'immense *T. rex* auraient-ils pu dépasser les 8 tonnes ? Et leurs petits bras, qui, eux, se raccourcissaient au fil des générations, étaient-ils voués à disparaître ? Sans doute, peut-être... Chaque paléontologue possède ici sa propre opinion. Mais, au-delà d'une diversification morphologique, entre aussi en scène une idée qui a fait couler beaucoup d'encre : et si certains dinosaures avaient évolué vers une forme d'intelligence comparable à la nôtre ? Dans les années 1980, le paléontologue canadien Dale Russell a imaginé un scénario où un petit théropode (*Stenonychosaurus*) aurait vu son volume cérébral augmenter au fil de dizaines de millions d'années, jusqu'à atteindre un volume équivalent à celui d'un humain. Ce « dinosauroïde » était représenté avec un crâne plus grand, des yeux vers l'avant, des doigts semi-opposables et une posture bipède, évoquant une créature humanoïde.

L'idée a fait le tour des livres populaires

La persistance des dinosaures aurait rendu l'émergence des lignées humaines très improbable

NOVAPIX/BRIDGEMAN IMAGES - CARLTON PUBLISHING GROUP/SPL/SUCRÉ SALÉ

et des documentaires, mais elle a aussi suscité de vifs débats dans la communauté scientifique. La principale critique est d'ordre méthodologique : l'évolution n'a pas de but ! Et supposer qu'un dinosaure évolue vers une forme humanoïde revient à projeter nos propres caractéristiques sur un groupe dont la trajectoire évolutive aurait été radicalement différente. Des chercheurs comme Darren Naish, de l'université de Southampton (Royaume-Uni), ont souligné que les dinosaures survivants auraient probablement conservé un plan corporel plus reptilien, manipulant potentiellement des objets avec leur bec ou leurs pattes plutôt qu'avec des mains « humaines ».

Au-delà de l'esthétique du « dinosauroïde », la question fondamentale est celle de l'intelligence. Certains petits dinosaures à plumes, à l'instar des troodontidés, possèdent un coefficient d'encéphalisation relativement élevé par rapport à d'autres reptiles. Cela a alimenté l'idée qu'ils auraient pu développer des capacités cognitives significatives si les conditions leur avaient été favorables. Cependant, des recherches récentes — par exemple celles d'Anton Reiner, du Centre des sciences de la santé de l'université du Tennessee (États-Unis) — ont examiné en détail la structure cérébrale des dinosaures non aviens, et concluent que leur matière grise est fondamentalement différente de celle des mammifères. Les données neuroanatomiques soulignent que leurs cerveaux, tels ceux des oiseaux actuels, étaient organisés en noyaux et non en couches corticales comme chez les mammifères. Cette différence d'architecture est fondamentale. Le néocortex des mammifères permet une multiplication des aires spécialisées et des connexions complexes, souvent associées à des fonctions comme le langage ou la planification abstraite.

◀ **« Tyrannosaurus rex »,** s'il avait survécu, aurait pu voir sa taille augmenter et ses petits bras disparaître, selon certaines hypothèses (vue d'artiste).

Les mammifères auraient peiné à sortir d'un mode de vie discret

Chez les oiseaux, et probablement chez les dinosaures, l'intelligence repose sur une autre organisation. Elle peut produire des comportements sophistiqués, comme on l'observe chez les corvidés, capables d'utiliser des outils ou de résoudre des problèmes. Mais elle ne conduit pas nécessairement à une intelligence technologique. Autrement dit, certains dinosaures auraient pu devenir plus cognitifs, plus sociaux, plus adaptables, mais il est très improbable qu'ils aient évolué vers une forme humanoïde ou une civilisation technique. Leur intelligence, si elle s'était développée davantage, aurait suivi d'autres chemins, ancrés dans leur propre biologie.

Les dinosaures continuent d'occuper les grandes niches terrestres. Les rôles aujourd'hui tenus par les grands mammifères herbivores et les carnivores restent verrouillés. Les mammifères du crétacé, majoritairement de petite taille, déjà cantonnés à des modes de vie nocturnes et discrets, peinent à en sortir. Sans extinction massive, ils ne ▶

bénéficient jamais de cette ouverture écologique brutale qui, dans notre histoire, déclenche leur diversification. Ils évoluent, se spécialisent, gagnent en complexité, mais restent en périphérie. La domination globale leur échappe.

L'essor des cétacés aurait été fortement compromis

Dans les océans, l'effet est tout aussi déterminant. L'absence d'effondrement du plancton évite la cascade d'extinctions qui a redessiné les écosystèmes. Des groupes comme les ammonites persistent. Les grands reptiles marins (plésiosaures, pliosaures et mosasaures) conservent leur place de prédateurs dominants. Dans ces conditions, les mammifères marins, apparus il y a environ 50 millions d'années, auraient eu peu d'espace pour s'imposer. Auraient-ils même colonisé durablement ces milieux déjà saturés de prédateurs ? Rien n'est moins sûr. L'essor des cétacés, des siréniens et des autres lignées aquatiques apparaît, dans ce scénario, fortement compromis.

Aucun organisme n'aurait remodelé la planète. Pas de villes, pas d'agriculture, pas de transformation globale des paysages

La même logique s'applique aux lignées humaines. La persistance des dinosaures rend leur émergence très improbable. L'histoire évolutive qui mène à *Homo sapiens* dépend d'une succession d'événements étroitement liés à leur disparition et, en particulier, à l'expansion rapide des mammifères qui s'ensuit. Sans l'impact de Chicxulub, cette fenêtre ne s'ouvre jamais.

Et 66 millions d'années plus tard, le paysage est à la fois familier et profondément déroutant. Les continents ont poursuivi leur dérive, les climats se sont refroidis, les forêts ont reculé par endroits, au profit de milieux plus ouverts. Dans les plaines et les sous-bois, des dinosaures herbivores de taille moyenne, plus mobiles, parfois couverts de plumes, exploitent des végétations diversifiées. Les grands prédateurs bipèdes occupent toujours le sommet des chaînes alimentaires. Mais, surtout, aucun organisme n'a remodelé la planète. Pas de villes, pas d'agriculture, pas de transformation globale des paysages. La biosphère a évolué selon ses propres dynamiques, sans humains pour la troubler. ■ **Joël Ignasse**

ET SI...

Les cultures de soja s'effondraient

Ce serait la fin d'un accès à une viande bon marché pour les consommateurs français. Le soja est un pilier de sa production intensive : *« Dans les élevages de poulets, il représente près de la moitié des coûts »*, souligne Olivier Antoine, auteur de *Géopolitique du soja* (A. Colin, 2025). Selon l'interprofession des huiles et protéines végétales, 3,5 millions de tonnes de tourteaux de soja ont été importées en 2019 en France, contre 397 000 t de production locale, en moyenne, sur la période 2016-2020 : la viande d'élevage de l'Hexagone est donc dépendante de cette protéine végétale importée. *« La restauration rapide, qui repose sur des protéines animales peu chères, serait très exposée »*, complète cet expert. Et des millions de consommateurs auraient plus de mal à acheter de la viande.*« Ce risque est réel. Le principal facteur est le climat : malgré les progrès génétiques, le soja reste très sensible au manque d'eau et aux fortes chaleurs. »*

AFP

La protéine végétale importée en France est essentielle pour la production de viande.

Au Brésil, premier producteur mondial de soja, la déforestation de l'Amazonie inquiète. La forêt joue un rôle clé dans les précipitations du continent grâce aux « rivières volantes », ces flux invisibles de vapeur d'eau qui transportent l'humidité et alimentent les pluies. Or, 70 % des précipitations du bassin du Rio de la Plata, grande zone agricole, en dépendent, selon Olivier Antoine. À cela s'ajoute la pression accrue des parasites, plus précoces, durables et agressifs. Résultat : des plantes fragilisées et des pertes de rendement importantes. Mais un tel choc pourrait accélérer la transition alimentaire : moins de viande, plus de protéines végétales, avec des effets positifs sur la santé, le climat et une relocalisation partielle des cultures en Europe. ■ **I. do O'G.**

YAMAGUCHI HARUYOSHI/CORBIS/GETTY IMAGES

La baisse du taux de fécondité est observée notamment en Asie de l'Est.

ET SI...

Nous ne faisions plus d'enfants

Derrière ce scénario pessimiste alimenté par une baisse mondiale de la fécondité, les démographes esquissent une réalité plus nuancée : celle d'une humanité encore portée par son inertie et sa jeunesse.

« *L'humanité s'éteindrait en l'espace de cent ans environ,* répond le démographe Gilles Pison, conseiller à la direction de l'Institut national d'études démographiques (Ined). *Entre-temps, la population vieillirait inexorablement, jusqu'à ne plus compter que des personnes âgées.* » Ce scénario extrême reste toutefois très éloigné des dynamiques actuelles. Certes, la fécondité diminue partout dans le monde. « *À l'échelle planétaire, le taux est de 2,2 enfants par femme en moyenne, un niveau en baisse constante qui se rapproche du seuil de remplacement des générations (2,1 enfants par femme)* », précise-t-il.

Les Nations unies anticipent d'ailleurs un passage sous ce seuil vers 2050, puis une poursuite du déclin jusqu'à 1,8 enfant par femme à la fin du siècle.

Mais cela ne signifie pas que la population mondiale va immédiatement décroître. Au contraire : elle continue d'augmenter et pourrait atteindre un peu plus de 10 milliards d'individus dans la seconde moitié du XXIe siècle, avec un pic autour de 2080. En cause, un phénomène clé en démographie : l'inertie. « *La population mondiale est jeune,* explique Gilles Pison. *Les jeunes adultes sont nombreux, et même si chacun d'eux a peu d'enfants, le nombre total de naissances est élevé. Du côté des décès, ils se concentrent partout aux âges élevés. Or, les personnes âgées représentent encore une part faible de l'humanité. Résultat : il y a encore deux fois plus de naissances que de décès.* » La baisse de la fécondité est néanmoins spectaculaire dans certaines régions. Les records se trouvent en Asie de l'Est : la Corée du Sud est à 0,8 enfant par femme, le Japon à 1,1. L'Italie ou l'Espagne affichent des niveaux comparables. Sans immigration, si de tels taux se maintenaient, les conséquences seraient radicales. « *Avec 1 enfant par femme, une population est divisée par deux en une génération, soit environ trente ans. En un siècle, elle serait divisée par huit* », anticipe le spécialiste.

Un décalage entre intentions et comportements

Faut-il pour autant redouter un effondrement démographique global ? Rien n'est moins sûr. « *Les démographes ne sont pas sur un scénario catastrophe* », tempère Gilles Pison. Car derrière les chiffres se cache une réalité plus nuancée : le désir d'enfant reste très majoritaire. « *Quand on interroge les jeunes adultes, ils disent vouloir en moyenne deux enfants. Une enquête réalisée en France, en 2024, montre que seuls 10 % d'entre eux déclarent ne pas en vouloir. Une proportion en hausse, mais encore minoritaire* », souligne-t-il

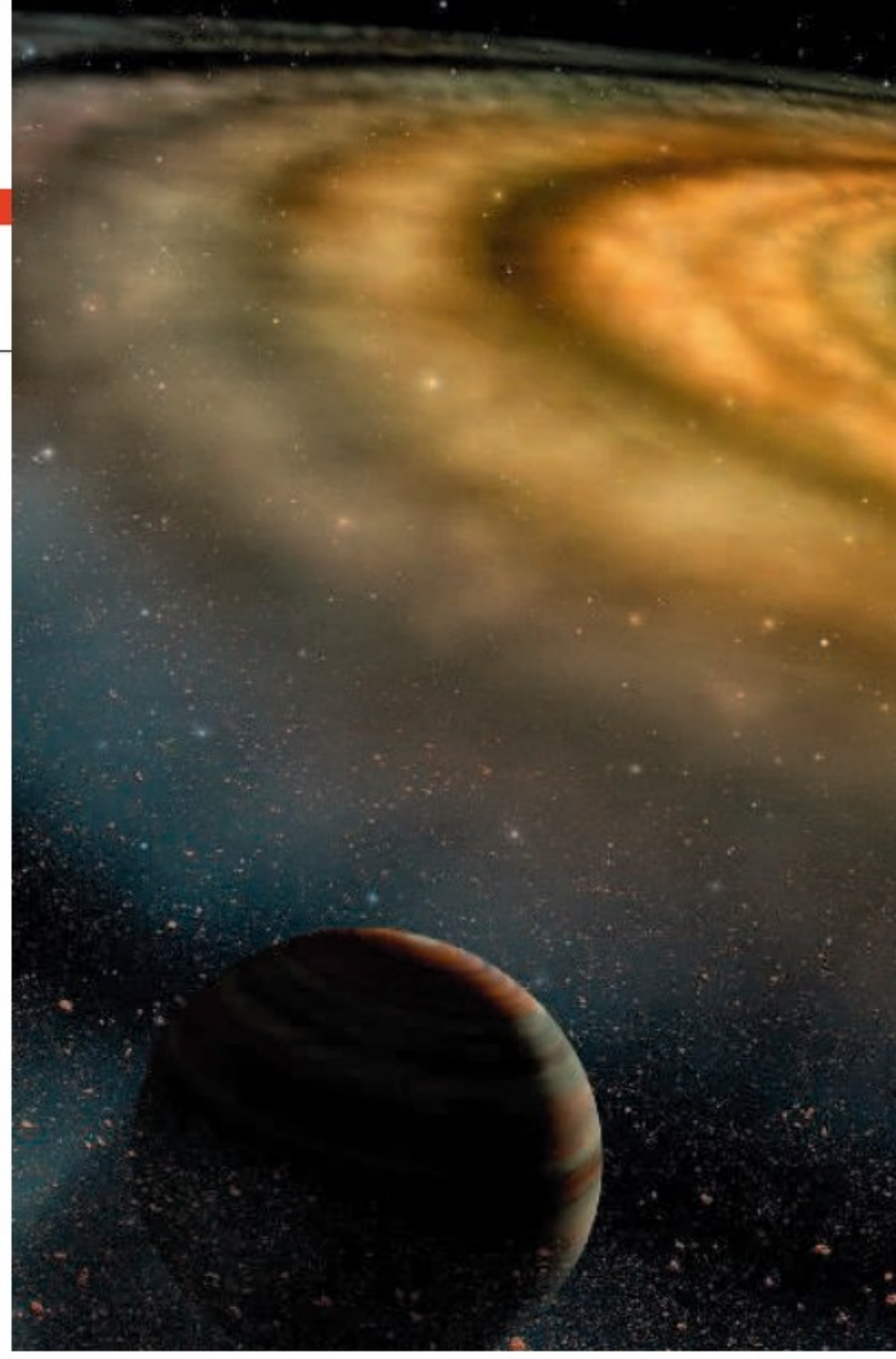
Le décalage entre intentions et comportements s'explique par des contraintes bien réelles : coût de la vie, instabilité économique, conciliation entre travail et famille. Pourtant, sur le long terme, les trajectoires se rapprochent souvent des souhaits initiaux. En France, par exemple, « *les femmes qui ont aujourd'hui 50 ans ont eu un peu plus de deux enfants en moyenne* », rappelle le chercheur. Reste une question sous-jacente : sommes-nous trop nombreux sur Terre ? « *Même à un milliard d'habitants, avec un mode de vie européen ou nord-américain, la pression écologique sur la planète resterait considérable* », prévient Gilles Pison. ■

Lise Loumé

ET SI...

Les planètes migraient

L'orbite de Mercure pourrait s'allonger progressivement et une collision avec la Terre et Mars serait possible. Mais dans quelques milliards d'années...



L'idée d'une telle migration n'est pas farfelue, car si le gracieux ballet des planètes autour du Soleil semble aujourd'hui bien réglé, cela n'a pas toujours été le cas... Et rien ne dit que ce sera toujours le cas. Petit retour en arrière, il y a 4,5 milliards d'années. Au cours de leur formation, les planètes ne restent pas en place. Immergés dans le disque de gaz et de poussières entourant le jeune Soleil, les embryons planétaires y créent des ondes de densité de matière. Celles-ci engendrent un léger déséquilibre gravitationnel qui, à la longue, modifie leur orbite. Comme le souligne Sean Raymond, spécialiste de la dynamique des systèmes planétaires au Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux, *« un embryon planétaire d'une dizaine de masses terrestres peut migrer en seulement 10 000 à 100 000 ans. Une courte durée comparée aux quelques millions d'années de vie du disque protoplanétaire »*. Les jeunes planètes ont donc largement le temps de parcourir de grandes distances avant que le gaz ne disparaisse.

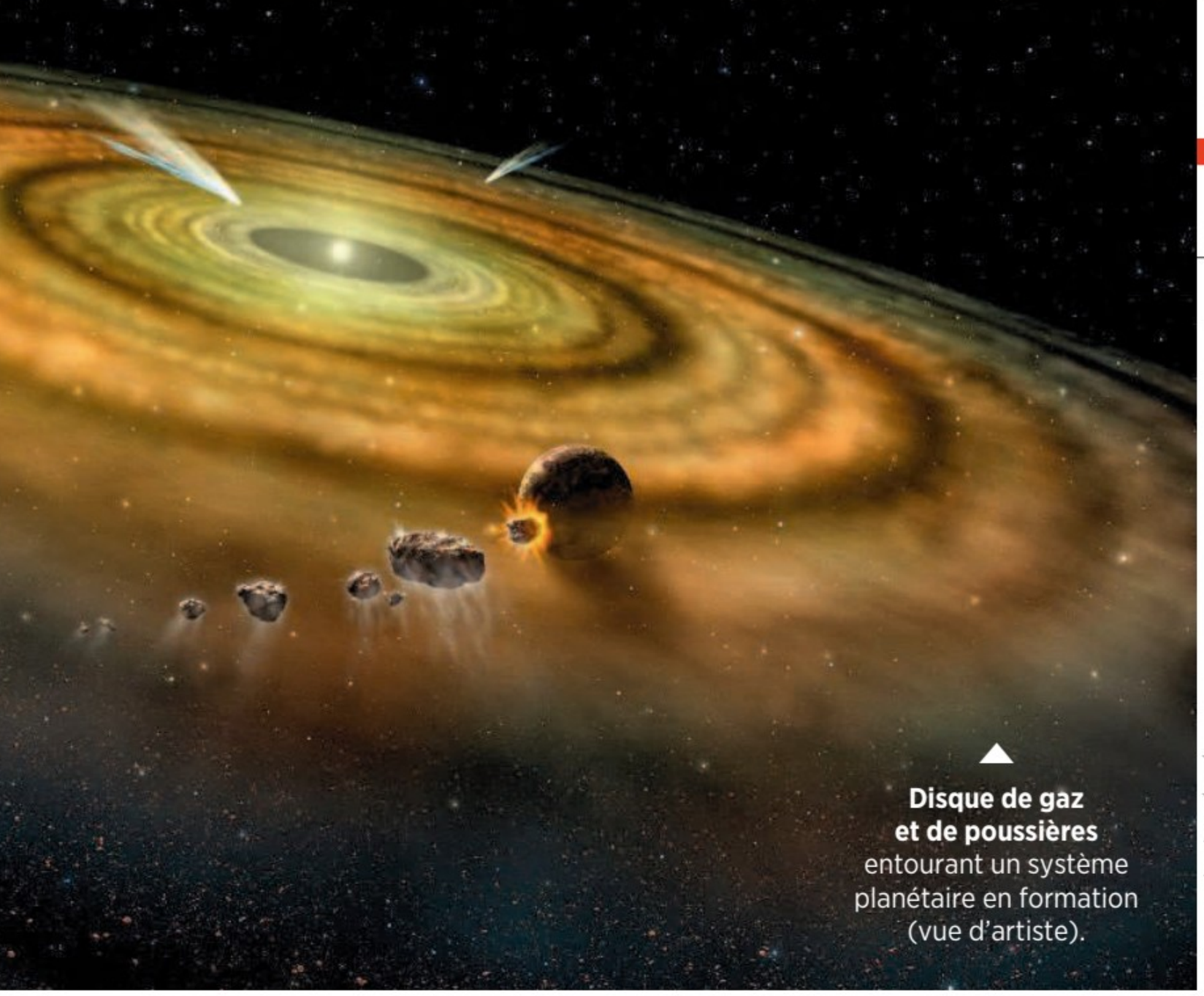
Jupiter n'aurait pas échappé à ce phénomène. Mais elle l'aurait joué façon *« éléphant dans un magasin de porcelaine »*. Après sa formation, la géante gazeuse aurait commencé à migrer vers le Soleil.
Lorsque Saturne l'a rejointe, les deux planètes se sont retrouvées verrouillées dans une résonance orbitale. Or, comme l'explique Sean Raymond, *« si*

ET SI...

On se passait de pesticides

Nombre d'études scientifiques le confirment : il est possible de produire autant de nourriture sans utiliser de produits phytosanitaires, à condition de modifier les pratiques agricoles actuelles.

L'Union européenne s'est donné un objectif de réduction de 50 % des pesticides en 2030, mais la situation bouge peu. Il se vend tous les ans environ 350 000 tonnes de phytosanitaires en Europe, 80 000 tonnes en France.
Pour tenter de trouver des solutions, des chercheurs de l'Institut national de recherche sur l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) ont testé, pendant douze ans, des solutions alternatives sur les fermes expérimentales de l'organisme. Conclusion : se passer de pesticides, c'est faisable, mais cela implique de changer profondément les pratiques culturales. Les exploitations agricoles sont de plus en plus spécialisées dans quelques cultures. Les chercheurs ont, à l'inverse, obtenu des rendements similaires à l'agriculture conventionnelle en allongeant la rotation des cultures sur 7 à 9 ans, en modifiant les périodes de semis, en limitant, ou même en supprimant le labour et en utilisant des variétés résistantes, voire en mélangeant les plantes sur une même parcelle. Dans 45 % des cas, l'agriculteur a dégagé entre deux et trois smics mensuels de revenus (un smic mensuel s'élevant à 1477,93 euros nets), dans 35 % plus de trois smics.
Les produits de biocontrôle vont également aider à la sortie de la chimie. Cela consiste à rechercher dans l'environ-



LYNETTE COOK / SPL / SUCRÉ SALÉ

Disque de gaz et de poussières entourant un système planétaire en formation (vue d'artiste).

la planète intérieure est plus massive, les deux planètes peuvent se retourner et migrer ensemble vers l'extérieur ». Ce spectaculaire demi-tour est au cœur du modèle du « Grand Tack ». S'il n'est plus le scénario privilégié désormais, tous les modèles actuels s'accordent sur un point : « *La migration des planètes géantes est un processus inévitable* », résume Sean Raymond.

Après un passé si tumultueux, la phase d'équilibre dans laquelle nous nous trouvons est-elle pérenne ? Pas forcément. L'astronome Jacques Laskar a montré que le Système solaire interne est chaotique, car de minuscules incertitudes sur la position des planètes aujourd'hui finissent par rendre toute prédiction impossible au-delà de quelques millions d'années. Cela n'empêche pas les astronomes d'explorer statistiquement l'avenir du Système solaire à l'aide de milliers de simulations, couvrant plusieurs milliards d'années.

Un scénario qui a 1 % de risque de se produire

Or, dans certains cas, la petite Mercure entre en résonance avec l'immense Jupiter. Son orbite s'allonge progressivement, et toutes les planètes telluriques s'affolent. Une collision entre la Terre et Mars devient alors possible, ainsi qu'une chute de Mercure dans le Soleil. Mais ce scénario catastrophe n'a que 1 % de risque de se produire. Dans 99 % des cas, les planètes telluriques poursuivent leur course sans catastrophe majeure pendant les cinq prochains milliards d'années. Le passage d'une étoile suffisamment proche pourrait perturber les orbites planétaires, mais un tel événement n'est guère attendu avant plusieurs dizaines de milliards d'années. D'ici là, le Soleil se muant en géante rouge aura de toute façon rendu la Terre inhabitable depuis longtemps… ■ **Fabrice Nicot**

nement proche des insectes auxiliaires qui se nourrissent des agresseurs des récoltes, ou à développer les méthodes qui vont favoriser les animaux protecteurs des plantes. Alors qu'on comptait 20 000 études sur le sujet entre 1961 et 2021, on dépasse aujourd'hui les 2000 publications scientifiques par an. Le biocontrôle impose cependant des contraintes structurelles pour les agriculteurs. Pour favoriser la « lutte intégrée », il faut améliorer la biodiversité et donc laisser de la place à la nature. Ce qui implique de planter des haies et de réduire la taille des parcelles. Enfin, un pan de recherche fondamentale explore l'« holobionte » des plantes, c'est-à-dire son environnement proche constitué de micro-organismes, virus, acariens, dont on ne connaît pas le rôle positif pour elles. Le biocontrôle représente aujourd'hui de 12 à 15 % du marché phytosanitaire.

THOMAS LOUAPRE / DIVERGENCE

Une vingtaine d'alternatives aux pesticides ont été identifiées par le Cirad.

Les plantes tropicales peuvent aussi être cultivées sans pesticides. En étudiant les conduites agronomiques du café, du cacao, de la banane, du riz et des légumes en Amérique latine, Afrique et Asie du Sud-Est, les chercheurs du Centre de recherche agronomique pour le développement (Cirad) ont identifié plus d'une vingtaine d'alternatives pour réduire l'usage des pesticides. Et ce, malgré un climat tropical bien plus difficile que le climat européen. Au total, 27 programmes européens impliquant 2000 chercheurs ont pour but de fournir les clés d'une agriculture sans chimie dès 2040. ■ **L. C.**

ET SI...

On guérissait tous les cancers

Les nouveaux traitements améliorent la survie de nombreux patients (ici, au Centre de protonthérapie de Munich, en Allemagne).

Le cancer est aujourd'hui la première cause de mortalité en France, avec 162 000 décès annuels. Mais si cette maladie devenait totalement guérissable, les conséquences sanitaires, économiques et sociales pourraient bien être tout aussi importantes que cette révolution médicale elle-même !

En France, la proportion de patients en vie cinq années après le diagnostic d'un cancer était d'environ 45 % il y a une quarantaine d'années. Aujourd'hui, ce taux de survie à 5 ans, qui sert de référence pour parler communément de guérison, dépasse les 60 %. C'est *« grâce aux progrès des traitements, notamment l'essor des thérapies ciblées et de l'immunothérapie, et des Plans cancer successifs qui ont permis de structurer les filières de soins »*, explique le Pr Steven Le Gouill, directeur de l'Ensemble hospitalier de l'Institut Curie, à Paris. Le dernier en date, appelé Stratégie décennale de lutte contre les cancers 2021-2030, s'est d'ailleurs fixé pour ambition de réduire la mortalité par cancer de 162 000 décès à 100 000 par an d'ici à 2030.

Mais certains n'hésitent pas à voir encore plus grand : *« On peut, aujourd'hui, être réellement optimistes, ce que je n'aurais pas dit il y a dix ans. Nous sommes à l'aube d'une révolution : vivre dans un monde sans cancers incurables »*, a ainsi déclaré le Pr Alain Puisieux, président du directoire de l'Institut Curie, en février dernier. De quoi se demander ce qu'il se passerait si plus personne ne mourait du cancer en France. Comment une telle révolution médicale affecterait-elle notre système de soins et notre rapport à cette maladie particulière ?

Les maladies cardiovasculaires prendraient le relais

Le dernier rapport de l'Institut national du cancer recense 433 000 nouveaux cas en 2023. Ce doublement de l'incidence des cancers depuis 1990 s'explique *« principalement par le vieillissement et l'accroissement de la population, et dans une moindre mesure, par l'évolution des modes de vie. Or, même si notre exposition aux facteurs de risque majeurs qu'est la consommation d'alcool et de tabac diminue, la population française continue de croître et surtout de vieillir… »*, souligne le Pr Jean-Yves Blay, directeur général du Centre Léon-Bérard, à Lyon.

D'autre part, les personnes ayant déjà eu un cancer ont un risque accru de 36 % par rapport à la population générale de souffrir d'un second cancer primitif, c'est-à-dire sans lien avec la première tumeur. Donc, mécaniquement, si plus personne ne meurt du cancer, il y a un risque d'avoir une augmentation importante de son incidence, même si aucune étude ne s'est aventurée à la chiffrer.

Et puisqu'il faut bien continuer à mourir de quelque chose, les maladies cardiovasculaires deviendraient sûrement la première cause de mortalité en France : en 2023, elles étaient déjà à l'origine de 140 000 décès. Enfin, l'incidence des pathologies neurodégénératives telles que la maladie d'Alzheimer augmenterait elle aussi, l'âge étant le principal facteur de risque. Rappelons qu'aujourd'hui, notre pays compte au moins 900 000 malades d'Alzheimer et 200 000 nouveaux cas par an, et qu'il n'existe aucun traitement curatif.

Côté finances publiques aussi, on peut s'attendre à des conséquences majeures, voire brutales. En 2023, l'Assurance-maladie a remboursé pour 27,2 milliards d'euros de soins et prestations diverses

AMELIE-BENOIST / IMAGE POINT FR / BSIP

en lien avec le cancer, soit 22 % de ses dépenses totales. En 2015, ce montant était de 18,9 milliards d'euros. Mais, surtout, les remboursements des seuls médicaments anticancéreux (5,5 milliards d'euros en 2023) ont augmenté trois fois plus que l'ensemble des autres médicaments. En cause, les nouveaux traitements d'immunothérapie et les thérapies ciblées. D'après un récent rapport de la Cour des comptes, le traitement d'immunothérapie par pembrolizumab, délivré à 48 000 patients en 2023, représente ainsi jusqu'à 72 000 euros par an et par patient, et la perfusion unique de cellules CAR-T, dernière innovation en date, coûte entre 300 000 et 400 000 euros. Pour faire face à ces coûts, des hôpitaux s'organisent déjà : sur le modèle de ce qui se fait en Espagne par exemple, des établissements français commencent à produire eux-mêmes certains traitements innovants, même si cela demande un gros investissement initial pour se doter des infrastructures adéquates. *« Guérir tous les cancers, cela va évidemment coûter cher. Ne faudra-t-il pas en profiter pour interroger les entreprises pharmaceutiques, comme les pouvoirs publics, sur la question de la financiarisation parfois excessive de la santé, surtout dans le champ du cancer où les prix des médicaments suivent une trajectoire exponentielle peu soutenable au long terme ?* » s'interroge Steven Le Gouill. Et, en même temps, *« si les gens ne meurent plus du cancer, ils vont continuer à travailler, à faire des enfants, à créer des richesses. Donc cela ne se résume pas qu'à des coûts supplémentaires !* »

Développer la prise en charge des séquelles

Disparition des soins palliatifs et développement du suivi post-maladie : si l'on ne meurt plus du cancer, le système de soins va devoir être repensé. *« On a déjà connu cette évolution dans certaines pathologies cardiovasculaires ou infectieuses* [comme avec le VIH]. *Les révolutions médicales provoquent forcément une réorganisation des soins, avec notamment le développement de la médecine de ville pour assurer le suivi à long terme des patients »*, explique la Pr Isabelle Durand-Zaleski, du Centre de recherche en épidémiologie et statistiques, à Paris.

Par ailleurs, les traitements anticancéreux ne sont pas sans effets pour l'organisme : *« Si l'on soigne de plus en plus de patients, il va falloir accroître la prise en charge des séquelles, notamment la*

JOEL SAGET/AFP

« Nous sommes à l'aube d'une révolution : vivre dans un monde sans cancers incurables »

Alain Puisieux, président du directoire de l'Institut Curie

chirurgie reconstructrice pour pallier les conséquences de certaines opérations qui peuvent être très mutilantes. Et aussi développer l'offre de procréation médicalement assistée, puisque les cancers sont diagnostiqués de plus en plus jeune, et que les chimiothérapies et certaines radiothérapies et thérapies ciblées ont un impact délétère sur la fertilité », signale la Dr Aurore Dougé, oncologue médicale au CHU de Clermont-Ferrand.

La population risquerait d'être moins sensible au dépistage

Bien que certaines tumeurs, comme celles du testicule, de la thyroïde ou les carcinomes de la peau, aient un taux de guérison autour de 95 %, *« la vision du cancer comme une maladie mortelle reste très tenace »*, rappelle la Dr Aline Sarradon-Eck, médecin et chercheuse en anthropologie au Sesstim, à Marseille. Et cela risque de durer, car les représentations sociales n'évoluent pas aussi vite que les progrès médicaux. D'ailleurs, c'est cette image du cancer comme fléau universel qui a permis de sensibiliser la population à la nécessité du dépistage. Mais qu'en sera-t-il si l'on guérit tous les cancers ? En 2022-2023, les taux de participation aux programmes de dépistage organisé n'étaient que 46,3 % pour le cancer du sein et de 34,2 % pour le cancer colorectal. *« Est-ce que cela va augmenter parce que les gens n'auront plus peur de la maladie ou, au contraire, s'effondrer ? »* s'interroge l'anthropologue. Même question quant à la prévention : les comportements se relâcheront-ils ? Cela pourrait avoir des effets dramatiques sur le nombre de nouveaux cas de cancers, puisqu'on chiffre déjà à 40 % la part de cancers provoqués par nos modes de vie…

Les représentations sociales n'évoluent pas aussi vite que les progrès médicaux

Accroissement de la population âgée, risque de relâchement sur le plan de la prévention et de la participation aux programmes de dépistage, augmentation des cancers secondaires… Et si guérir tous les cancers conduisait paradoxalement à une explosion de leur incidence ? Alors, une telle révolution médicale produirait autant de questions nouvelles qu'elle en résoudrait. ■ **Émilie Gillet**

ET SI…

La Lune disparaissait

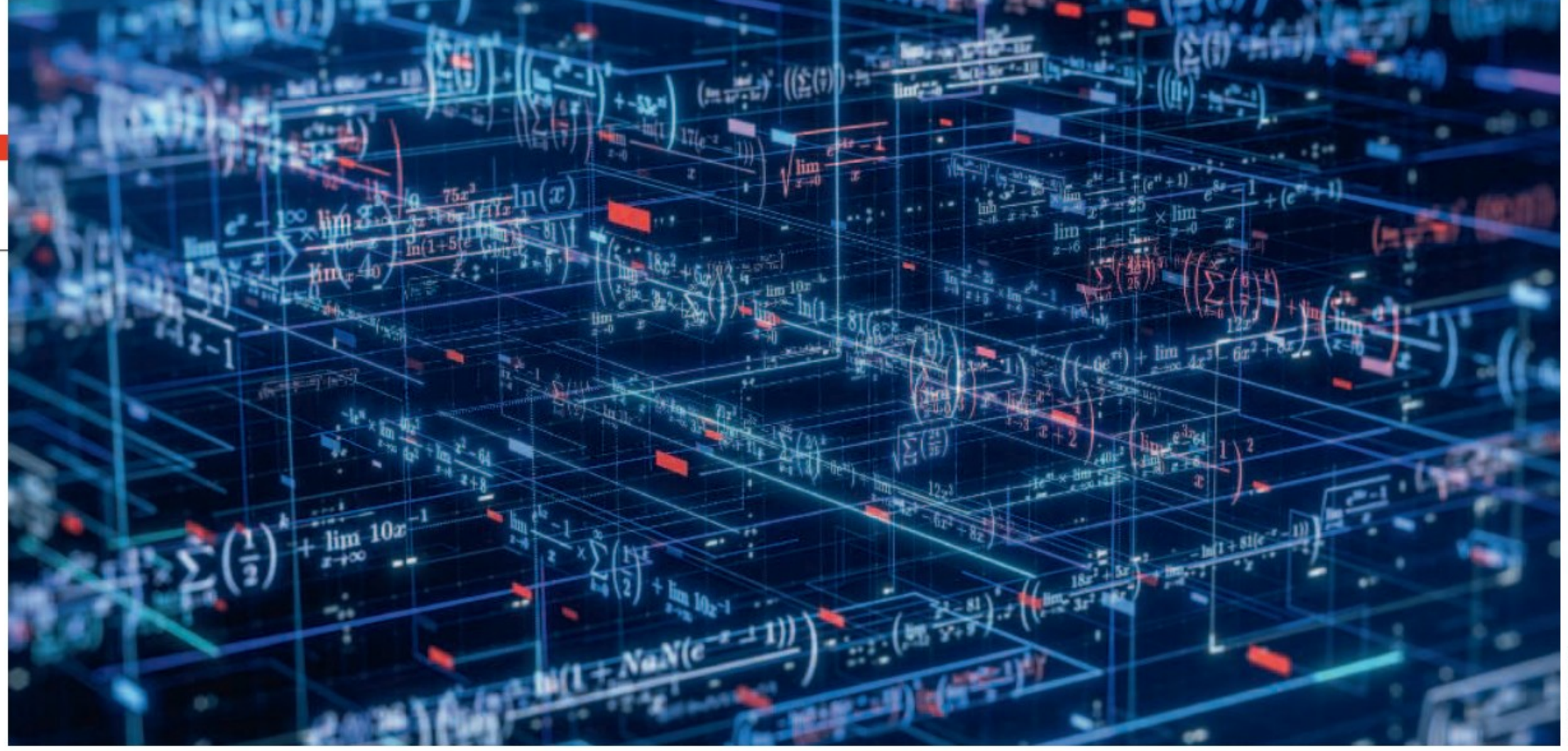
Sans la Lune, la Terre serait toute chamboulée. Au sens propre. Car depuis des milliards d'années, notre satellite agit comme un stabilisateur de l'axe de rotation terrestre. Notre planète tourne sur elle-même, un peu comme une toupie. Et une toupie a tendance à vaciller. L'axe de rotation de la Terre est ainsi incliné d'environ 23,5° par rapport au plan de l'écliptique. Cette inclinaison est responsable de l'alternance des saisons. En effet, en tournant autour du Soleil, la Terre présente alternativement l'hémisphère Nord puis l'hémisphère Sud à notre étoile, modifiant la quantité de lumière et de chaleur reçue. Sans la Lune, l'inclinaison pourrait alors varier fortement au fil des millions d'années, comme l'a démontré l'astronome Jacques Laskar, dès 1993. Les saisons n'auraient plus grand-chose à voir avec celles que nous connaissons aujourd'hui. Des travaux plus récents ont précisé les choses : la Terre ne deviendrait pas forcément inhabitable, mais son climat serait bien moins stable et prévisible que maintenant.

La Terre pourrait rester habitable, mais son climat serait bien moins stable qu'aujourd'hui.

SPL / SUCRÉ SALÉ

Les marées seraient aussi fortement affectées, mais elles ne disparaîtraient pas totalement : le Soleil continuerait à en produire. Toutefois, comme l'influence lunaire est plus de deux fois supérieure à celle du Soleil, elles seraient très atténuées.

Enfin, ironie de l'histoire, la Lune est déjà en train de nous quitter. Sous l'effet des marées, elle s'éloigne de la Terre d'environ 3,8 cm par an. Mais à ce rythme, notre fidèle compagne continuera d'illuminer nos nuits pendant encore des milliards d'années… ■ **F. N.**



GETTY IMAGES

ET SI...

L'IA résolvait tous les problèmes mathématiques

Longtemps considérée comme un bastion de la pensée abstraite, la recherche mathématique voit émerger des intelligences artificielles capables de proposer des preuves inédites. Une révolution vertigineuse.

Le constat est désormais clair : l'intelligence artificielle n'est plus seulement un outil de calcul, mais elle commence à transformer la manière même de faire des maths. L'idée semblait pourtant absurde il y a quelques années encore. Les IA pouvaient jouer au go ou reconnaître des images, mais certainement pas inventer des démonstrations. Puis sont arrivés les grands modèles de langage, les fameux LLM.

Cette évolution s'est notamment illustrée autour d'une conjecture du mathématicien hongrois Paul Erdős (1913-1996), connu pour ses nombreux problèmes ouverts. Début 2026, le problème n° 1196, qui porte sur la théorie des nombres, suscite l'intérêt de la communauté. Deux étudiants américains s'appuient alors sur ChatGPT Pro pour l'examiner. Le modèle propose une démonstration inattendue, brève, mais fondée sur des outils mathématiques élaborés.

L'affaire prend très vite de l'ampleur. Un article collectif analyse finalement la stratégie proposée. Sans conclure que le modèle « comprend » les maths, les auteurs reconnaissent qu'il fait émerger une combinaison d'outils originale, passée jusque-là inaperçue. Pour Régis de La Bretèche, théoricien des nombres à l'université Paris Cité, cet épisode marque un tournant : *« Il me paraît évident que l'IA va bouleverser le paysage de la recherche mathématique. »*

Même Terence Tao, considéré comme l'un des plus grands mathématiciens vivants, y voit une mutation comparable à l'arrivée des ordinateurs dans la recherche scientifique. *« J'imagine un futur où les IA produiraient des preuves formellement vérifiées, tandis que les humains se concentreraient davantage sur l'intuition et les grandes idées »*, explique-t-il.

Mais cette perspective inquiète aussi. Patrick Massot, professeur à l'université Paris-Saclay, refuse catégoriquement d'utiliser les LLM. Pour lui, déléguer les mathématiques aux machines revient à vider la discipline de son sens. *« Les maths fondamentales n'ont pas d'utilité directe, elles forment l'esprit et constituent l'environnement indispensable à l'éclosion des maths appliquées et des sciences. Elles se rapprochent par bien des côtés d'une activité artistique »*, estime-t-il. Sa principale crainte concerne la formation. Que devient l'apprentissage lorsqu'une IA rédige une démonstration correcte en quelques secondes ? *« Le produit au bout des trois ans de thèse, ce ne sont pas les articles de recherche. C'est le fait d'avoir formé quelqu'un »*, martèle-t-il.

Des démonstrations « sans odeur » ni compréhension

Car derrière la fascination technologique se cache une question quasi philosophique : les mathématiques ont-elles encore un sens si aucun humain ne les comprend vraiment ? Dans un récent article, Terence Tao évoque le risque de démonstrations impeccables et *« sans odeur »* : des preuves justes, mais privées d'intuition et de compréhension profonde. Et si les machines démontraient un jour tous les théorèmes possibles ? Isabelle Gallagher, professeure à Paris Cité, balaie l'idée : *« Les mathématiques, c'est, par construction, infini. Et, depuis les travaux de Kurt Gödel, on sait par ailleurs qu'il existe des résultats indémontrables. »* Reste une autre possibilité : non pas que l'IA mette fin aux mathématiques, mais qu'elle change ce que cela signifie d'être mathématicien ou mathématicienne. ■ **Philippe Pajot**

C. ZIEGLER / MINDEN PICTURES / BIOSPHOTO

90 % des plantes à fleurs dépendent, au moins en partie, des insectes pour la pollinisation.

◄

ET SI...

Il n'y avait plus d'insectes

Alors que leurs populations déclinent depuis plusieurs années, la disparition de ces petits animaux essentiels à la biodiversité menacerait l'équilibre même de la vie.

Les insectes sont au cœur du fonctionnement des écosystèmes. Imaginer leur disparition relève (encore) de la science-fiction… et du cauchemar. « *C'est un pur exercice de pensée. Mais s'il n'y a plus d'insectes, il n'y a plus d'humains* », résume Vincent Bretagnolle, écologue au CNRS. Car sans eux, tout vacille. Leur poids dans la pollinisation est colossal : environ 90 % des plantes à fleurs dépendent, au moins en partie, des insectes. Sans eux, prairies, savanes et forêts s'éteindraient progressivement. L'agriculture suivrait.

Sous nos pieds, le même effondrement silencieux s'accomplirait. Car dans les sols, les insectes assurent le recyclage de la matière organique. Sans les décomposeurs, « *on vivrait dans des monceaux de déchets organiques* », pointe l'écologue. Ils constituent aussi une base essentielle de la chaîne alimentaire. Oiseaux, poissons, amphibiens, mais aussi de nombreux mammifères en dépendent directement ou indirectement. « *Même des espèces qui mangent des plantes en dépendent* », souligne le chercheur, tant les écosystèmes sont imbriqués.

Plus largement, c'est le fonctionnement même de la biosphère qui serait compromis. Les écosystèmes, grâce à l'action conjointe des plantes, des microorganismes et des insectes, purifient l'eau et l'air. Sans eux, ces processus naturels s'effondrent. S'il n'y a plus d'écosystèmes fonctionnels, il n'y a plus d'agriculture, donc plus de nourriture.

Certains insectes sont considérés comme dispensables. Les moustiques, par exemple. « *C'est une vision court-termiste,* tranche Vincent Bretagnolle. *Chaque espèce a sa place et a son utilité.* » Les larves de moustiques nourrissent de nombreux organismes aquatiques, et leur disparition entraînerait des effets en cascade. L'ensemble de ce scénario semble extrême et théorique. Et pourtant… Des forêts tropicales du Costa Rica aux plaines agricoles européennes, un même phénomène inquiète les scientifiques : les insectes disparaissent. Lentement, mais sûrement. Et avec eux, c'est tout l'équilibre du vivant qui vacille.

Des baisses de l'ordre de 75 % constatées en Europe

« *On ne dispose pas d'un tableau global,* concède Vincent Bretagnolle. *Contrairement aux oiseaux ou aux poissons, les insectes restent difficiles à suivre : trop nombreux, trop divers.* » Pourtant, les données accumulées sur plusieurs décennies dessinent une tendance nette. Le nombre d'insectes diminue, mais pas à la même vitesse selon les espèces, les continents ou les milieux.

Le constat est particulièrement alarmant en Europe, où certaines études évoquent des baisses de l'ordre de 75 % des individus. Une chute vertigineuse. Et contrairement au climat, il n'existe pas encore de projections globales comparables à celles du Giec : « *Dans le cas de la biodiversité, c'est plus empirique. Mais si on ne modifie rien dans l'agriculture, les insectes continueront à décliner* », ajoute le spécialiste. Que fait-on pour éviter ce scénario ? « *Alors que la biodiversité devrait être une priorité absolue, les politiques actuelles au niveau mondial vont souvent à rebours* », prévient-il. Usage des pesticides, des néonicotinoïdes, artificialisation des sols… « *On est en train de scier la branche sur laquelle on est assis* », alerte-t-il. ■

Lise Loumé

ET SI...

La pollution spatiale empêchait l'exploration

ESA/SPL/SUCRÉ SALÉ

De 13 000 satellites en orbite actuellement, on pourrait passer à 100 000 en 2030. L'envoi de missions spatiales va devenir compliqué, explique Christophe Bonnal, expert à l'Académie de l'air et de l'espace.

Aujourd'hui, quelle est l'ampleur de la pollution spatiale ?
Il y a l'équivalent d'une fois et demie la tour Eiffel en termes de masse qui tourne au-dessus de nos têtes. Soit près de 34 000 débris de plus de 10 cm catalogués. La probabilité d'une collision n'est jamais équivalente à zéro. Mais à court terme, pour aller faire de l'exploration spatiale vers la Lune, Mars et au-delà, ce risque est excessivement faible. Pour l'instant, l'espace est infiniment vide.

HERVE PIRAUD

Christophe Bonnal, expert en débris orbitaux.

Où se trouvent les débris spatiaux ?
La pollution se concentre sur les orbites basses, jusqu'à 2000 km d'altitude. Elles sont très utilisées pour l'observation de la Terre, pour les télécommunications, par les constellations. Sur l'orbite la plus encombrée, à 800 km d'altitude, il y a une majorité de petits fragments mais aussi d'anciens satellites et des étages de fusée. Ensuite, vers 20 000 km, nous avons les constellations de satellites de positionnement comme Galileo, avec une densité de débris très faible.

Pourquoi trouve-t-on autant de satellites sur les orbites basses ?
En dessous de 650 km d'altitude, il y a de l'atmosphère résiduelle. Elle exerce une certaine pression dynamique sur les satellites, un frein, qui entraîne les objets en orbite dans une spirale descendante. Quand vous lâchez un objet à 800 km d'altitude, il est là-haut pour deux siècles. Mais en dessous de 650 km, l'atmosphère nettoie pas mal de ces débris. D'où l'idée de poster ces satellites de mégaconstellation à ces altitudes instables, pour les contraindre à une durée de vie de moins de cinq ans.

Avec les constellations de mini-satellites, le risque de collision n'est-il pas en train d'augmenter ?
En 2026, on a 13 000 satellites actifs en orbite. En 2030, on s'attend à en avoir 100 000, peut-être plus, car chacun y va de sa constellation, Américains, Européens, Chinois… Tous ces opérateurs joueront-ils le jeu du partage d'informations sur les localisations ? Sans échange de paramètres entre Starlink et un opérateur chinois par exemple, il va y avoir un souci de trafic spatial ! Et là-dessus, imaginons une anomalie radiative, une éruption solaire. Un bon nombre de ces satellites pourraient « griller » et entrer en collision, ces collisions généreraient encore plus de débris incontrôlables. C'est la réaction en chaîne nommée syndrome de Kessler. Mais il faut savoir qu'en réalité, ce syndrome est déjà enclenché entre 750 et 1000 km !

Avec quelles conséquences pour l'exploration spatiale ?
Sur le long terme, la situation peut nous échapper. Nous ne pourrons plus être capables d'explorer l'univers. Et je ne parle même pas d'autres situations, des conflits, impliquant potentiellement des armes antisatellites interdites jusqu'ici par un moratoire. ■

Propos recueillis par Astrid Saint Auguste

ET SI...

Nous avions épuisé notre dernière goutte de pétrole

Transports, vêtements, produits d'hygiène... Rares sont les objets ou les activités de notre quotidien qui échappent à l'emprise du pétrole. Mais pour parvenir à s'en défaire, une véritable transition énergétique doit être amorcée en amont.

Si demain, les forages rendaient leur dernier souffle, définitivement à sec, on peut imaginer un scénario apocalyptique comme celui de Barjavel dans *Ravage*, lorsque l'électricité disparaît : privation des technologies, paralysie des approvisionnements, effondrement des infrastructures et panique sociale. Pour le pétrole, ce cataclysme ciblerait en premier lieu les transports, qui en sont dépendants à quasiment 90 % en France, d'après le Service des données et études statistiques (Sdes). Non seulement la mobilité humaine serait fortement freinée mais le transport de marchandises serait à l'arrêt, puisqu'il repose aujourd'hui majoritairement sur le transport routier, maritime et aérien, alimenté au diesel. Ainsi, plus de minerais de fer et de métaux rares pour nos smartphones, plus de fruits et de légumes dans nos supermarchés. *« On peut imaginer une pénurie alimentaire, sanitaire et technologique, due au manque d'échanges commerciaux »,* projette Clément Caudron, chef de projet « transition robuste » au Shift Project.

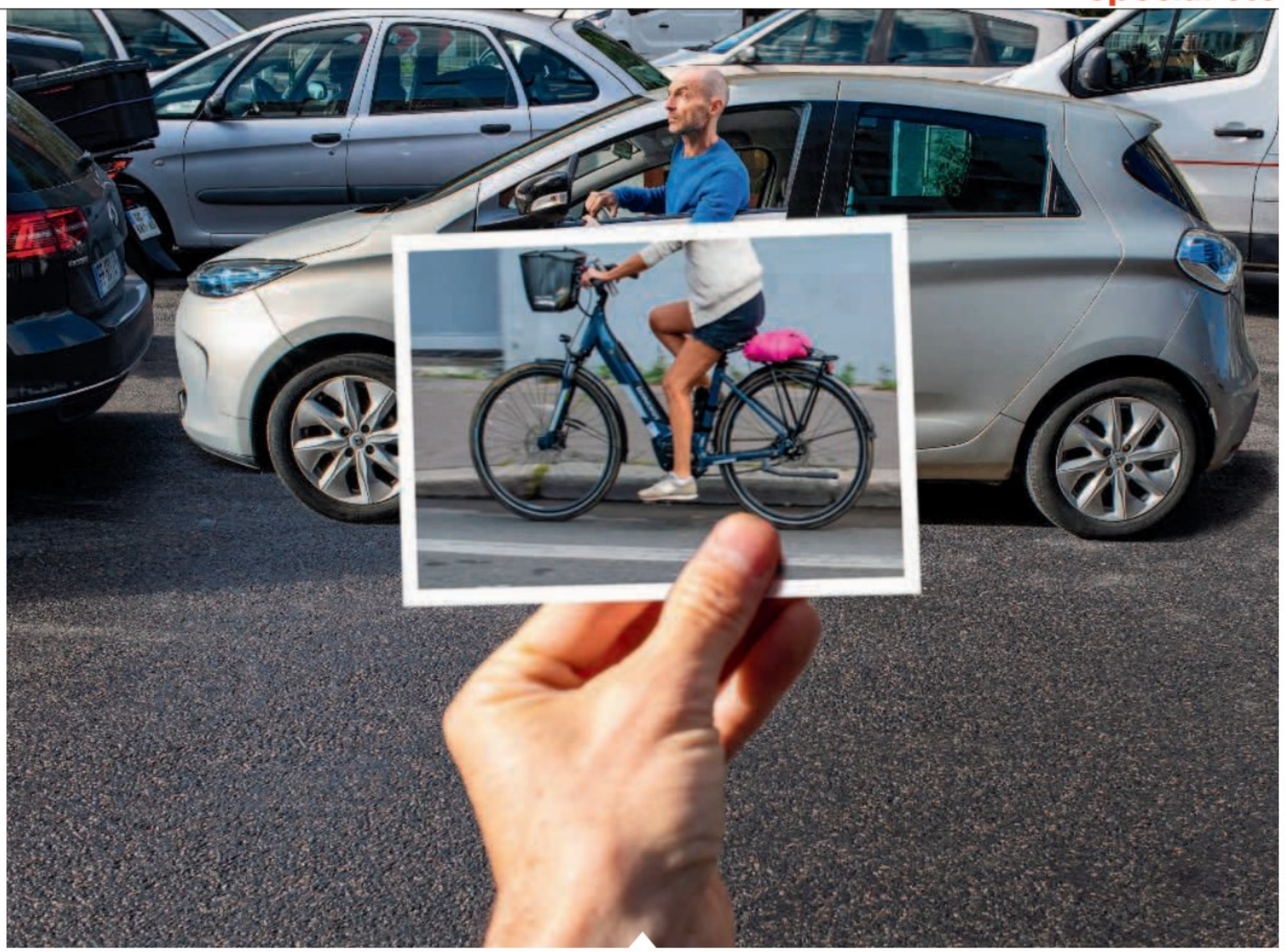
Au niveau de la production, les usines et les mines seraient également touchées, puisque l'industrie consomme à elle seule environ un quart du pétrole utilisé dans le monde, d'après l'Agence internationale de l'énergie (AIE). Et avec elle, l'agriculture, qui dépend des engrais et de la mécanisation par les tracteurs. *« Cet or noir assure la vascularisation de toute notre économie,* écrit Matthieu Auzanneau, ancien directeur du Shift Project, dans son livre *Pétrole, le déclin est proche* (Seuil, 2021). *En tant que première source d'énergie, il apporte l'essentiel de la puissance permettant à la plupart des organes vitaux de la société de fonctionner, de se perpétuer et de se développer. »*

Les transports maritime et aérien peinent à être électrifiés

En plus de ses qualités énergétiques, le pétrole constitue une matière première cruciale pour la production de plastique, omniprésent dans notre quotidien. Vêtements, emballages alimentaires, produits d'hygiène et matériel médical reculeraient jusqu'à se volatiliser. *« À bien regarder autour de soi, rares sont les objets qui n'ont pas été fabriqués et acheminés grâce au pétrole »,* ajoute Matthieu Auzanneau.

Une fois que cela est dit, comment envisager un monde sans pétrole ? On peut cette fois-ci imaginer que les puits sont taris, mais qu'une véritable transition énergétique a été entamée au préalable. Sur quoi reposerait ce nouveau modèle ? *« Dans le secteur des transports, l'un des principaux leviers pour s'émanciper du pétrole est l'électrification,* souligne Clément Caudron. *La voiture électrique est sujette à beaucoup de désinformation, donc je le rappelle : bien qu'elles soient légèrement plus émettrices à la production à cause de la batterie, elles rattrapent vite ce bilan, puisqu'en roulant elles n'émettent plus rien. »* En effet, le mix électrique français est composé à 70 % de nucléaire, et le reste principalement d'énergie hydroélectrique, éolienne, et solaire. L'électricité ne dépend donc que très peu du pétrole. Ainsi pour les voitures, mais aussi pour les camions, qui représentent une part importante de l'acheminement de marchandises et qui sont pour l'instant peu électrifiés, l'électricité offre une importante marge de manœuvre.

« Aujourd'hui, on produit à peu près 550 TWh d'électricité en France, on en consomme 450 TWh et le reste est



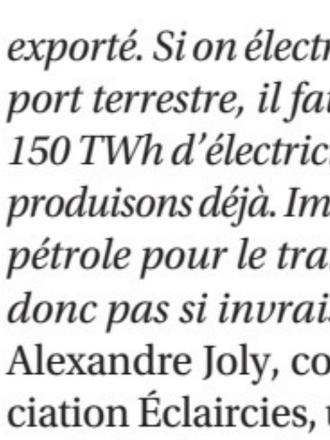
ÉMILE LOREAUX / HANS LUCAS

L'électrification des véhicules individuels (voitures, vélos) connaît une forte progression en France.

exporté. Si on électrifiait 100 % du transport terrestre, il faudrait environ 100 à 150 TWh d'électricité en plus, et nous les produisons déjà. Imaginer un monde sans pétrole pour le transport terrestre n'est donc pas si invraisemblable », calcule Alexandre Joly, cofondateur de l'association Éclaircies, un collectif d'experts en écologie et climat.

Les secteurs aérien et maritime, quant à eux, peinent à être électrifiés en raison du poids des batteries qu'il faudrait développer pour mouvoir de tels engins. Les pistes restantes sont donc l'utilisation de carburants durables : biocarburants ou carburants de synthèse. Une alternative qui peut s'avérer pertinente pour les avions et les bateaux ou les tracteurs, mais non viable pour l'ensemble des transports, puisqu'elle nécessite de la biomasse en quantité. *« Sachant que pour atteindre 40 térawattheures d'énergie produite avec du biocarburant, on utilise déjà 2 à 3 % de la surface agricole totale française, on ne pourrait atteindre les 450 TWh souhaités sans atrophier notre agriculture »,* évalue Clément Caudron.

Les options sont donc les suivantes : augmenter le déploiement d'infrastructures d'énergie renouvelables, renouveler les centrales nucléaires vieillissantes et surtout *« faire du report modal »*. Pour les marchandises, il s'agit de reporter l'acheminement vers du fret ferroviaire et fluvial, qui permet de transporter de grands volumes, loin et rapidement, avec très peu d'électricité. Pour le transport humain, quitter la voiture individuelle pour des moyens de transport collectifs électrifiés, voire opter pour des mobilités douces. *« Bien sûr, ceci n'est pas faisable pour tous et pour tous les trajets, mais d'après les travaux de l'Ademe, on estime que la marche et le vélo pourraient représenter un quart des distances parcourues dans*



ALEXANDRE JOLY

« Imaginer un monde sans pétrole pour le transport terrestre n'est pas si invraisemblable »

Alexandre Joly, cofondateur de l'association Éclaircies, collectif d'experts en écologie et climat

les déplacements quotidiens en 2050, alors qu'aujourd'hui cela représente 3 à 4 %. Il y a donc un important potentiel de progression », analyse Clément Caudron.

Réduire notre consommation de plastique

Pour cela, il faut repenser les infrastructures et l'aménagement du territoire, construire des pistes cyclables assurant la sécurité des usagers, favoriser les circuits courts. *« Somme toute, la disparition du pétrole impose un renforcement de l'échelle locale, avec des déplacements de proche en proche, et des approvisionnements provenant de la périphérie des villes »,* relève Estelle Lachaud, spécialiste en aménagement du territoire et auteure d'un récit de fiction imaginant un monde sans pétrole.

Par ailleurs, l'émancipation du pétrole dans les secteurs du logement et du ter-

« Le problème n'est pas celui de la dernière goutte, mais celui de la phase de tarissement qui précédera »

tiaire suppose une transition vers une meilleure isolation des bâtiments et une substitution du chauffage au fioul par des pompes à chaleur électriques. Reste alors le sujet du plastique. Pour le remplacer, différents bioplastiques tels que les polyhydroxyalcanoates (PHA) et l'acide polylactique (PLA) sont actuellement mis à l'épreuve. Mais leur production pose à son tour la question de la disponibilité de la biomasse, comme pour les biocarburants, soulignant la nécessité de réduire notre consommation de plastique.

In fine, la disparition du pétrole aurait de nombreux effets bénéfiques pour l'environnement : la réduction des atteintes directes à la biodiversité du fait des marées noires, des infrastructures pétrolières et de la pollution plastique, mais également une baisse des émissions de particules fines et de gaz à effet de serre, qui contribuent au dérèglement climatique. Selon l'AIE, le pétrole est en effet responsable d'environ un tiers des émissions mondiales de CO_2 liées à l'énergie. Au reste, *« le problème posé n'est pas celui de l'épuisement final, celui de la dernière goutte, mais bien celui de la phase de tarissement qui précédera : une longue phase de sevrage, qui durera des décennies, et qui sera subie à moins d'être anticipée »,* estime Matthieu Auzanneau. ■

Thaïs de Bastard

ET SI...

L'Amoc s'arrêtait

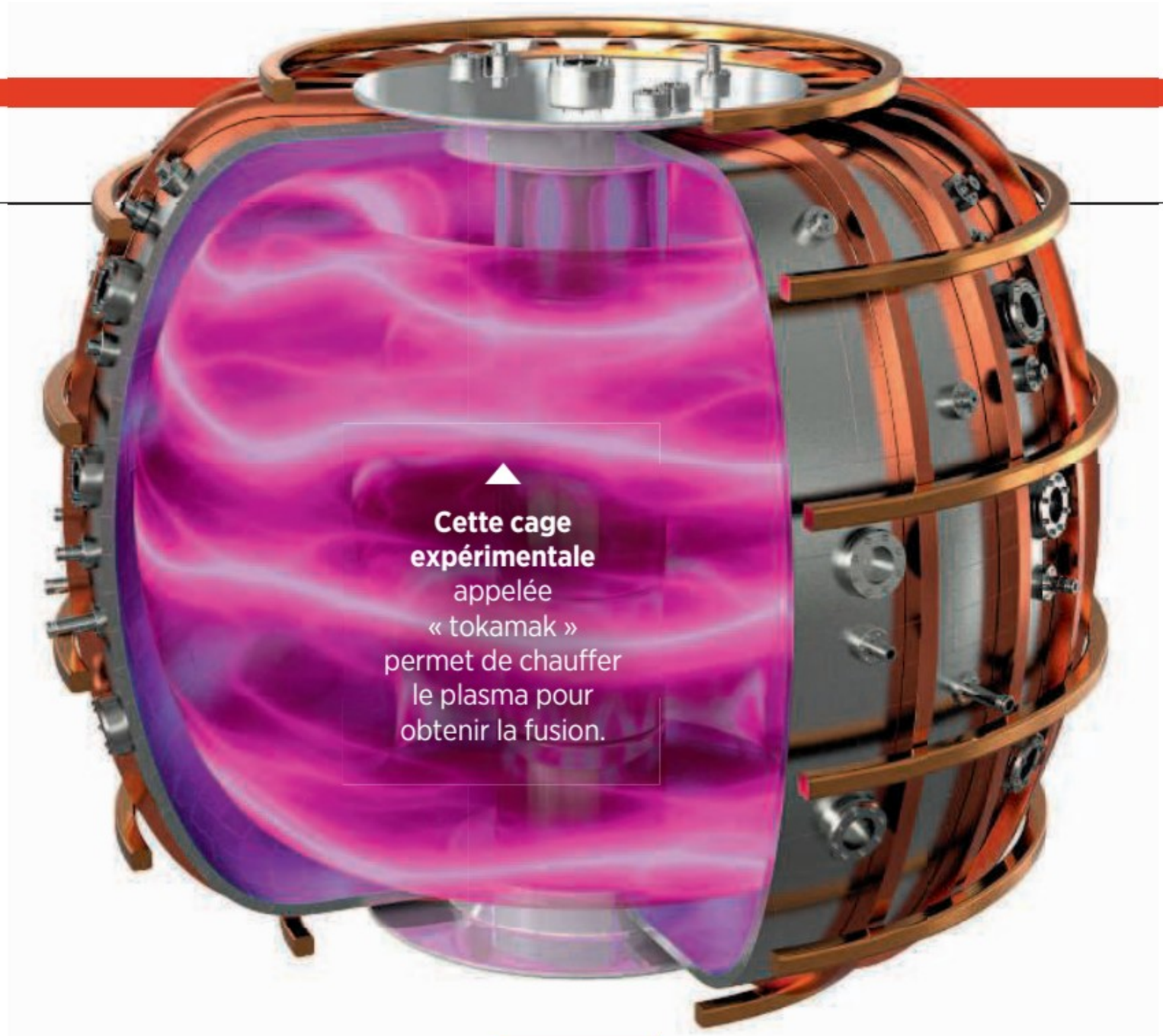
Le climat mondial dépend d'une machine mystérieuse : la circulation thermohaline et sa « colonne vertébrale », la circulation méridienne de retournement de l'Atlantique (Amoc, en anglais). Et la grande angoisse d'un nombre croissant de climatologues, c'est qu'elle s'arrête. Avec pour point de départ le golfe du Mexique, le Gulf Stream devient Amoc au large de la Caroline du Nord, pour rejoindre l'océan Arctique où ses eaux chaudes se refroidissent, augmentent leur salinité, s'alourdissent et plongent dans les profondeurs pour repartir vers les tropiques. Cet apport de chaleur est crucial pour les pays riverains de l'Atlantique. Or, la fonte des glaces de la banquise arctique et du Groenland apporte des masses d'eaux douces qui contrarient la plongée des eaux salées. Les climatologues estiment de plus en plus probable son affaiblissement, voire son arrêt d'ici à 2100.

Pour quel effet ? Le climat européen connaîtra alors un net rafraîchissement tandis que la mousson africaine s'affaiblira avec pour conséquence une baisse des précipitations dans des régions déjà sensibles aux sécheresses. La forêt amazonienne subira également une baisse des précipitations et donc une transformation en savane. Les moussons asiatiques seront également plus erratiques. Ainsi, l'agriculture de très nombreux pays en voie de développement serait bouleversée. Pour éviter cette catastrophe climatique, un seul remède : réduire les gaz à effet de serre pour éviter la fonte des glaces des pôles. ■

L. C.

SPL / SUCRÉ SALÉ

Le Gulf Stream transporte des masses d'eau chaude du golfe du Mexique vers l'Europe.



Cette cage expérimentale appelée « tokamak » permet de chauffer le plasma pour obtenir la fusion.

SPL / SUCRÉ SALÉ

ET SI...

La fusion nucléaire était maîtrisée

C'est le rêve des physiciens : dompter l'« énergie des étoiles ». Une technologie nettement plus puissante que la fission actuelle, et potentiellement plus propre et plus sûre.

Nous sommes en 2080. Des centaines de centrales nucléaires à fusion fonctionnent à pleine puissance un peu partout dans le monde. Chacune produit plusieurs milliards de watts, de quoi alimenter des millions de personnes en électricité. Vues de l'extérieur, ces installations d'une trentaine de mètres de haut ne semblent guère différentes des anciennes centrales à fission, mais de tout autres processus se déroulent en leur cœur. Contrairement à ces dernières, où des noyaux lourds d'uranium sont scindés en deux pour produire de la chaleur, elles font fusionner de petits noyaux d'hydrogène qui forment de l'hélium en libérant au passage des quantités phénoménales d'énergie. Celle-là même qui alimente le Soleil et toutes les étoiles… et que les physiciens rêvent de domestiquer depuis les années 1950. *« Tel est le scénario, dans ses grands traits, que nous imaginons aujourd'hui. Même si le chemin est encore long, je n'ai pas de doute que l'humanité maîtrisera d'ici quelques dizaines d'années l'énergie des étoiles »*, assure Alain Bécoulet, directeur scientifique d'Iter, le plus grand réacteur expérimental à fusion au monde, financé par une trentaine de pays et en cours d'assemblage à Cadarache, dans le sud-est de la France. Les scientifiques ont, de fait, d'excellentes raisons de poursuivre ce graal énergétique. L'énergie produite par la fusion d'un gramme de deutérium-tritium (deux formes d'hydrogène, qui diffèrent par le nombre de neutrons dans leur noyau atomique) *« équivaut à celle libérée par la fission de 100 grammes d'uranium et la combustion de 10 tonnes de pétrole »*, rappelle Alain Bécoulet. Contrairement à la fission, elle n'engendre pas de déchets hautement radioactifs — et ceux qu'elle produit ont une durée de vie de l'ordre du siècle, contre parfois des centaines de milliers d'années pour la fission. Cette source d'énergie décarbonée ne présente, en outre, aucun risque d'emballement — donc d'accident de type Fukushima — car les réactions cessent dès la moindre perturbation. Elle repose, enfin, sur des ressources abondantes : le deutérium est extrait de l'eau ; le tritium sera produit par les interactions entre les neutrons issus des réactions de fusion et du lithium disposé autour du réacteur. *« En produisant 500 mégawatts avec 1 gramme de deutérium-tritium, la fusion nucléaire sera une source d'énergie économique, sûre et sans émissions de gaz à effet de serre »*, s'enthousiasme le physicien.

Des particules soumises à des températures gigantesques

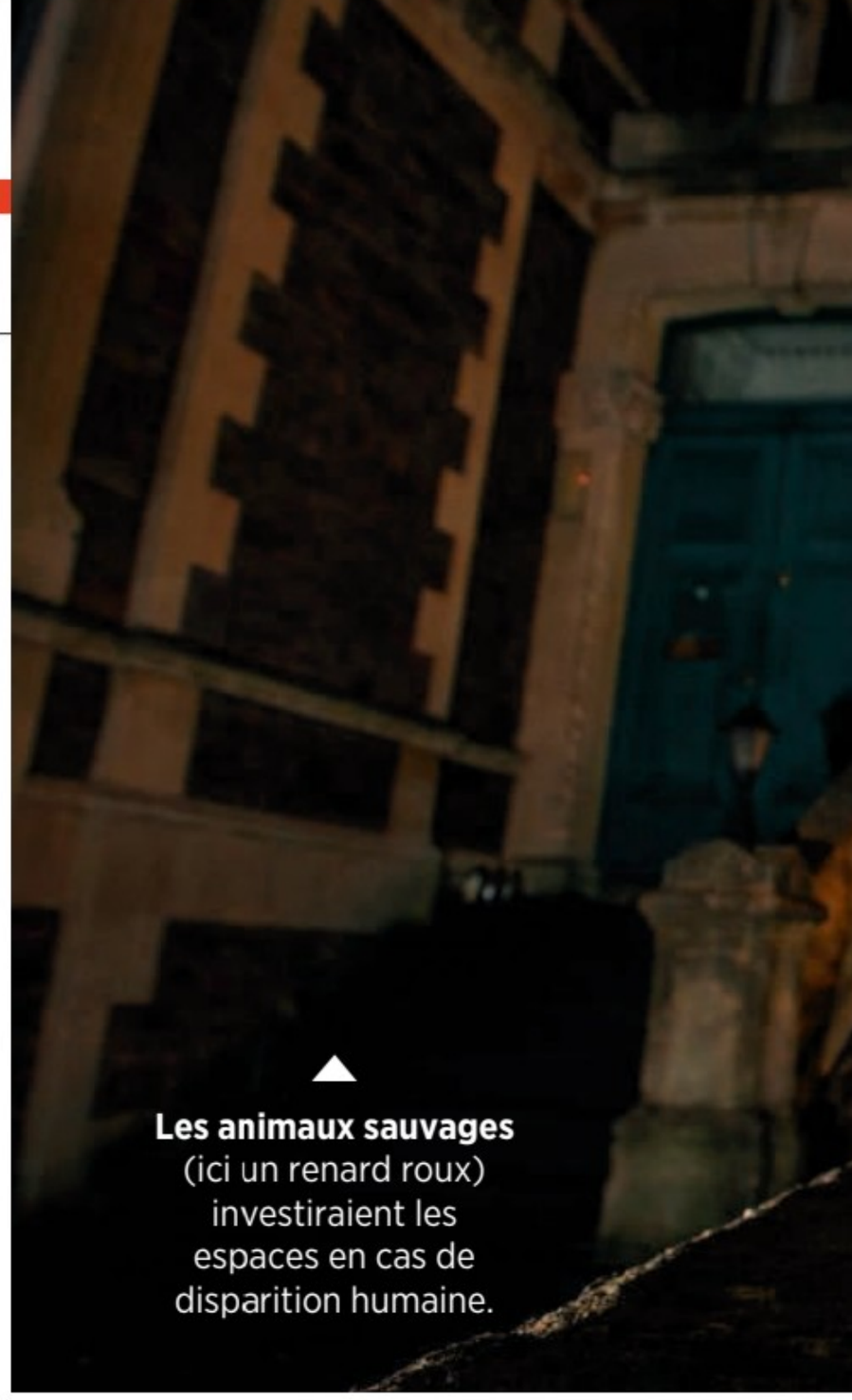
Si cette ambition est si longue à mettre en œuvre, c'est que les défis restent considérables. Pour forcer des noyaux d'hydrogène à s'unir — alors qu'ils se repoussent sous l'effet des forces électrostatiques —, les particules doivent être soumises à des températures gigantesques : 150 millions de degrés, dix fois plus qu'au cœur du Soleil ! Elles forment alors un plasma, gaz ionisé où elles s'entrechoquent à très grande vitesse jusqu'à fusionner. Mais cette fournaise doit être confinée par de puissants champs magnétiques afin de ne pas faire fondre la machine. Et il faut apprendre à contrôler les instabilités de ces « mini-soleils » pour que les réactions de fusion se maintiennent dans le temps. C'est tout l'enjeu d'Iter, qui prévoit un premier plasma de 830 m^3 vers 2035 et une production d'énergie à plein régime en 2039. *« Les premières centrales raccordées à un réseau électrique pourraient être construites vers 2050 »*, prévoit Alain Bécoulet. Et elles seront peut-être chinoises, portées par les ambitions du géant asiatique et la puissance de son industrie nucléaire, avant de se diffuser 20 à 30 ans plus tard sur l'ensemble de la planète. ■

F. D.

ET SI...

L'humain disparaissait

Selon des simulations, une Terre sans humains aurait abrité une plus large diversité d'espèces. Mais si « Sapiens » disparaissait, la terre retrouverait vite un état sauvage, tout en gardant une trace indélébile de son passage.



Les animaux sauvages (ici un renard roux) investiraient les espaces en cas de disparition humaine.

Voilà plusieurs centaines de milliers d'années qu'*Homo sapiens* sillonne la Terre. Difficile aujourd'hui d'imaginer précisément à quoi celle-ci aurait pu ressembler si nous n'avions pas vu le jour. Mais il est sûr que la disparition de nombreuses espèces liée à notre expansion n'aurait pas eu lieu. La Terre pourrait encore être parcourue par des mammouths laineux et des paresseux géants. Les forêts d'Europe seraient toujours façonnées par les grands herbivores et formeraient plutôt de vastes zones de végétation ouvertes et semi-ouvertes. Une mégafaune préservée n'aurait pas empêché une diversité des mammifères également bien plus importante qu'actuellement. Selon les simulations de Jens-Christian Svenning, de l'université d'Aarhus (Danemark), les valeurs les plus élevées de diversité des espèces de mammifères s'observeraient dans le sud des montagnes Rocheuses (Canada et États-Unis), au Mexique et dans le nord de l'Argentine. Et la majeure partie du continent américain et de l'Eurasie présenterait, elle aussi, *« des diversités similaires aux zones les plus diversifiées d'Afrique subsaharienne »*, soulignait une étude publiée dans la revue *Diversity and Distributions*. Les éléphants et les rhinocéros pourraient enfin parcourir librement le nord de l'Europe.

Retrouverait-on ces paysages si l'humanité disparaissait soudainement ? Jens-Christian Svenning estime que *« la Terre deviendrait similaire à celle qu'elle serait si l'humain n'avait jamais existé, mais ne serait pas pour autant parfaitement*

ET SI...

On cessait de fumer et de boire

Une fois passé le choc culturel de cette décision, les bénéfices sanitaires seraient évidents : on pourrait s'attendre à éviter près de 110 000 décès prématurés chaque année.

Si l'alcool et le tabac venaient à disparaître de notre quotidien, ce serait d'abord un véritable choc culturel, notamment en France où la sociabilisation est étroitement liée à la gastronomie et à la « pause cigarette ». Le milieu festif serait fortement affecté. L'industrie du tabac, avec ses 80 000 emplois, serait laissée-pour-compte, tandis que les 142 000 viticulteurs du pays seraient plongés dans une crise profonde. *« Ces substances sont associées à des valeurs telles que le vivre-ensemble et la préservation du patrimoine,* note Bernard Basset, président de l'association Addictions France. *Il est donc difficile de s'en émanciper. Pourtant, on observe une désaffection croissante, en particulier chez les jeunes générations, qui pourrait laisser entrevoir un scénario similaire.* » En effet, la proportion de fumeurs quotidiens est passée de 28,6 % en 2014 à 18,2 % en 2024, la consommation d'alcool de 12 litres d'alcool pur par personne et par an à 10,4 pendant cette même décennie, d'après l'Observatoire français des drogues et des tendances addictives (OFDT).

Or, faire une croix sur les deux premières causes de mortalité évitables entraî-

SAM HOBSON / NATUREL/ EBPHOTO

identique. Par exemple, les espèces disparues ne reviendraient pas, mais seraient remplacées par de nouvelles espèces. »

L'eau reprendrait ses droits, les rivières leur cours naturel

Les animaux sauvages réinvestiraient l'espace, prenant pour proie nos animaux domestiques. « *La réoccupation des territoires par la faune se ferait probablement par étapes,* estime le professeur d'urbanisme Carlton Basmajian, de l'université d'État de l'Iowa (États-Unis). *Certaines espèces émergeraient rapidement et se réimplanteraient durablement. Ce serait sans doute le cas pour celles qui ont déjà appris à vivre en milieu humain : ratons laveurs, lapins, cerfs, marmottes, coyotes, oiseaux, etc. Les grands prédateurs arriveraient plus tard, compte tenu de leur plus faible densité et de leur tendance à éviter le contact avec les humains.* »

Nos constructions subiraient des dommages (fissures, rouille) dus au manque d'entretien, et seraient envahies par une robuste végétation tandis que les plantes que l'on consomme disparaîtraient. L'eau reprendrait ses droits. « *Il faudrait probablement de nombreuses années pour que les rivières retrouvent leur cours naturel,* explique Carlton Basmajian. *Les digues s'éroderaient lentement puis une crue majeure les emporterait, section par section. Pour les barrages, ce serait sans doute encore plus long, selon leur emplacement, leur taille, les matériaux utilisés et leur état. Tout comme les digues, je m'attends à ce que les barrages s'affaiblissent progressivement, puis s'effondrent brutalement lors d'une crue majeure.* »

Côté climat, nos activités passées auraient des conséquences. Ainsi, « *les niveaux de CO_2 pourraient être suffisamment élevés pour que nous évitions la prochaine période glaciaire* », suppose de son côté Jens-Christian Svenning. Mais, dans ce scénario, nous ne serions de toute façon pas là pour nous en soucier… ■ **A.-S. T.**

nerait aussi une révolution sanitaire. D'après Santé publique France, l'alcool est responsable de 112 décès par jour, dont environ 40 % liés à des cancers et 25 % à des maladies cardiovasculaires. Quant au tabac, 200 décès par jour lui sont attribués, principalement des cancers du poumon, des maladies cardiovasculaires et respiratoires chroniques. Au total, on peut s'attendre à éviter près de 110 000 décès prématurés chaque année.

REA

« *Cet effet positif devrait aussi ruisseler sur les proches des consommateurs et sur la société, avec une diminution des complications de grossesse (prématurité, fausse couche, troubles cognitifs de l'enfant), une baisse des accidents de la route, ainsi qu'une réduction drastique des violences physiques et sexuelles* », poursuit Bernard Basset.

C'est ce qui a été observé en Inde, où la fabrication, la vente et la consommation d'alcool sont interdites dans l'État du Bihar depuis 2016. Une étude publiée dans *The Lancet* en 2024 montre une diminution du surpoids et de l'obésité chez les hommes, et une réduction des violences psychologiques et sexuelles envers les femmes, comparativement aux années précédentes et aux États voisins. Selon une étude parue dans *Lung Cancer,* plus de 78 000 cancers du poumon auraient été évités entre 1956 et 2015 en Australie grâce aux politiques antitabac, la part de fumeurs quotidiens ayant été ramenée à 8 %.

Les économistes en santé publique tentent de quantifier le coût social de ces addictions. Selon la dernière estimation de l'OFDT, publiée en 2023 à partir de données de 2019, celui de l'alcool en France s'élève à 102 milliards d'euros, quand celui du tabac atteint 156 milliards. Une somme qui expose le déséquilibre entre les recettes générées par les taxes et le coût réel imposé à la société (soins, prévention, effets sociaux) et révèle le bénéfice financier que représenterait leur disparition. ■ **T. de B.**

ET SI...

Toutes les glaces avaient fondu sur Terre

Une fonte complète entraînerait une hausse des mers de 65 à 70 mètres et redessinerait la carte des terres émergées. Mais auparavant, les populations humaines et les écosystèmes seront fortement affectés par la disparition des réserves d'eau formées par les glaciers.

Bien que cette hypothèse ne soit pas réellement envisagée pour le XXIe siècle, ces dernières décennies ont vu la cryosphère se transformer rapidement, comme l'a souligné le sixième rapport du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) : banquise arctique, calottes polaires du Groenland et de l'Antarctique connaissent une fonte accélérée sous l'effet du réchauffement causé par les activités humaines, tandis que les 215 000 glaciers de montagnes dispersés sur tous les continents disparaissent à un rythme *« sans précédent depuis au moins 2000 ans »*.

« Au cours des vingt dernières années, des terres ont déjà commencé à émerger de la glace en retrait, dévoilant plus de 2000 km de côtes autrefois recouvertes de glace dans le seul hémisphère Nord », indique Thomas Frank, de l'université d'Uppsala en Suède, premier auteur d'une étude internationale publiée en mai dans *Nature*.

Il y a quelques mois, la collaboration internationale Glambie (Glacier mass balance intercomparison exercise) avait, quant à elle, estimé que les glaciers du globe avaient perdu, depuis le début du siècle, de 2 à 39 % de leur masse glaciaire à l'échelle régionale, et environ 5 % de leur volume mondial initial.

« Certaines régions sont plus vulnérables que d'autres, souligne Étienne Berthier, glaciologue au CNRS. *Les glaciers de petite taille, dont la fraction d'englacement est de quelques milliers de km² — typiquement les Alpes, les glaciers des régions tropicales et le Caucase — devraient disparaître d'ici à 2100. Pour les Pyrénées, l'échéance est de seulement 5 à 10 ans ! Nous assistons à l'extinction progressive de paysages que nos aïeux ont connus et qui n'existeront plus pour nos enfants. »*

Dans une étude publiée en 2023 dans *Science*, des scientifiques menés par David Rounce, glaciologue à l'université de Carnegie-Mellon, en Pennsylvanie (États-Unis), estimaient que les glaciers terrestres pourraient perdre jusqu'à 40 % de leur masse d'ici à 2100. Avec un réchauffement de 2,7 °C — l'augmentation de température estimée sur la base des engagements pris en 2021 à Glasgow (Royaume-Uni) lors de la 26e conférence des Parties — la quasi-totalité des glaciers d'Europe centrale, de l'ouest du Canada et des États-Unis (hors Alaska) auront alors fondu. Si le réchauffement atteint +4 °C au-dessus des niveaux préindustriels, 80 % des glaciers mondiaux disparaîtront, contribuant à une élévation du niveau de la mer de 15 centimètres.

Des réservoirs essentiels d'eau douce

Or, ces « châteaux d'eau » naturels stockent de grandes quantités d'eau douce sous forme de neige et de glace en hiver, la restituant par la fonte en été et durant les périodes de sécheresse, lorsque les écosystèmes en ont le plus besoin. *« Les régions les plus sensibles se situent en Asie centrale,* précise Étienne Berthier, *dans les bassins-versants de l'Indus et des affluents de la mer d'Aral qui abritent des populations en grande partie dépendantes de l'agriculture. »*

Autre région à haut risque : l'Amérique du Sud, où les glaciers andins constituent un réservoir d'eau essentiel pour quelque 90 millions de personnes. Or,

CNRS/OMP-LEGOS

« Les glaciers de petite taille devraient disparaître d'ici à 2100. Pour les Pyrénées, l'échéance est de 5 à 10 ans ! »

Étienne Berthier, glaciologue, directeur de recherche CNRS au Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales

Carte de la Bretagne établie par le cartographe Perrin Remonté dans l'hypothèse où tous les glaciers terrestres fondraient.

PERRIN REMONTÉ

selon un rapport de l'organisation météorologique mondiale publié en mai, les glaciers du sud des Andes, ainsi que les glaciers tropicaux des régions de basses latitudes comme la Colombie et l'Équateur connaissent aussi une perte de masse importante.

En fondant, les glaciers forment des lacs instables, provoquant inondations à répétition et crues catastrophiques, notamment en Haute-Asie. Déstabilisées, les montagnes connaissent déjà des glissements de terrain et autres avalanches rocheuses. Dans les Alpes, plusieurs villages et hameaux sont désormais placés sous surveillance renforcée : en 2025, le village de Blatten, en Suisse, a ainsi été évacué avant d'être presque entièrement détruit sous 3 millions de m^3 de gravats détachés du glacier du Birch.

Les calottes polaires, autrement plus massives, devraient résister plus longtemps. Celle de l'Antarctique couvre plus de 20 fois la surface de la France et atteint une épaisseur maximale d'environ 5 km. Néanmoins, l'analyse de 250 000 données satellitaires par des chercheurs du Jet Propulsion Laboratory de la Nasa a montré en 2024 que 179 glaciers du Groenland — sur les 207 étudiés — ont considérablement reculé depuis 1985. Cet apport massif d'eau douce froide dans l'Atlantique Nord pourrait modifier durablement la circulation océanique — et affaiblir notamment le Gulf Stream (*lire p. 44*).

40 %
La perte estimée de la masse des glaciers terrestres d'ici à 2100.
(SOURCE : ROUNCE ET AL. 2023.)

Le devenir de l'Antarctique interroge particulièrement les scientifiques, car il pourrait présenter par endroits des effondrements rapides et des phénomènes de rupture de plateformes glaciaires. Les scénarios extrêmes prennent ainsi en compte la déstabilisation de glaciers tels que le Thwaites, à l'ouest du continent. Avec une superficie comparable à celle du Royaume-Uni, un front glaciaire de près de 120 km et une langue de glace qui descend à plus de 1000 m de profondeur dans la mer d'Amundsen, son effondrement entraînerait une hausse du niveau de la mer de 65 cm, ce qui lui vaut le surnom de « glacier de l'apocalypse ». Cette hypothèse demeure débattue, car après des décennies d'accélération de perte de glaces, *« on observe depuis cinq ans une stabilisation de l'Antarctique, qui est même en train de regagner un petit peu de masse,* indique Étienne

Berthier. *L'augmentation des précipitations neigeuses vient compenser en bonne partie la déstabilisation de certains glaciers débouchant dans l'océan. Ce phénomène est peut-être temporaire, mais cela montre qu'on ne comprend pas complètement le système antarctique.* » De fait, dans le désert sec et froid qu'est le continent Blanc, un climat plus chaud entraîne plus d'humidité dans l'atmosphère, et donc potentiellement plus de précipitations neigeuses sur la calotte.

Le retrait des glaces va imposer de nouveaux paysages. À court terme, l'abondance et le nombre d'espèces augmentent, comme le montre une synthèse de plus de 2100 inventaires de biodiversité réalisée par Sophie Cauvy-Fraunié, hydroécologue à l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (Irstea) à Lyon et Olivier Dangles, écologue au Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive à Montpellier. Mais cela se fait au détriment des espèces *« parfaitement adaptées aux conditions glaciaires »*, qui disparaissent, remplacées par des espèces généralistes ou invasives.

De nombreuses grandes villes côtières seraient submergées, les littoraux actuels redessinés

Si l'ensemble des glaces continentales de la planète finissaient par fondre, le niveau moyen des mers monterait d'environ 65 à 70 mètres. De nombreuses grandes villes côtières seraient alors submergées, les Pays-Bas disparaîtraient presque entièrement et les littoraux actuels seraient complètement redessinés. C'est cette hypothèse qu'a exploré le cartographe Perrin Remonté en 2023, alors qu'il était chargé d'évaluer les risques liés à la montée des eaux sur un port breton. *« J'ai voulu voir à quoi ressemblerait la Bretagne si toute la glace sur Terre fondait, sans compter la dilatation des océans due à la chaleur ou les phénomènes locaux d'érosion, de dépôts sédimentaires qui dessinent, eux aussi, le trait de côte localement. »* Le résultat saisissant obtenu grâce à un logiciel d'information géographique transforme la Bretagne en île ou presqu'île. Ce scénario ne pourrait se produire qu'en plusieurs siècles ou millénaires. *« La vitesse à laquelle la fonte se produit est aujourd'hui la principale incertitude pour estimer la hausse du niveau des mers »*, souligne Étienne Berthier. ■ **Sylvie Rouat**

ET SI...

On parlait neurodiversité plutôt qu'autisme

Trouble du spectre autistique, trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH), troubles dyslexiques ou dyscalculiques… Selon le manuel de référence mondiale en matière de diagnostic psychiatrique, le DSM (Diagnostic and Statistical Manual of mental disorders), il s'agit de troubles du neurodéveloppement qui *« se manifestent précocement et entraînent une altération du fonctionnement personnel, social, scolaire ou professionnel »*. Mais depuis la fin des années 1990 et les travaux de la sociologue australienne Judy Singer — qui se décrit elle-même comme *« probablement quelque part sur le spectre autistique »* —, le concept de neurodiversité s'est imposé, notamment du côté des associations de patients et de leurs familles.

L'objectif : mettre en avant des différences de fonctionnement cognitif plutôt que des altérations, et déstigmatiser les personnes concernées. On parle aussi de neurodivergence ou de neuroatypie. Selon ses adeptes, il s'agit de militer pour plus d'inclusion, à travers l'adaptation de l'environnement scolaire et professionnel à ces différences, plutôt que de tout miser sur le traitement ou la compensation des troubles. Ce qui pourrait avoir des conséquences importantes en matière de politique et de budget de santé publique… Mais certains psychiatres alertent d'ores et déjà sur le revers de la médaille et redoutent que soient invisibilisées les personnes le plus lourdement handicapées, ainsi que leur souffrance et celle de leur famille. Ce débat a en tout cas la vertu d'interroger ce que la médecine moderne considère comme le fonctionnement « normal » du cerveau. **É. G.**

YANN PEUCAT

ET SI...

On n'émettait plus de gaz à effet de serre

Les conséquences planétaires d'une cessation totale des émissions humaines de gaz à effet de serre ne se feraient pas immédiatement sentir, selon le climatologue Roland Séférian.

Imaginons que toutes les émissions anthropiques de gaz à effet de serre s'arrêtent brutalement. Que se passerait-il ?

Cette question renvoie à ce que les climatologues appellent le « réchauffement engagé » : autrement dit, la manière dont le climat continue d'évoluer après l'arrêt total des émissions. Lors des troisième et quatrième rapports du Giec, l'idée dominante était qu'en raison des rétroactions du système climatique, les émissions passées continuaient à produire du réchauffement pendant longtemps, un peu comme une boule de billard qui roule bien après que le coup a été porté. Nous avons énormément progressé sur ces questions, en particulier depuis le rapport spécial du Giec sur le réchauffement à 1,5 °C, en 2018. Les modèles permettent désormais d'explorer beaucoup plus précisément ce scénario.

DAVID-VILLA-SCIENCEIMAGE-CBI-CNRS

Roland Séférian
est spécialiste des sciences du climat au Centre national de recherches météorologiques.

Que disent-ils ?

Si l'on considère le seul CO_2 (principal acteur du réchauffement anthropique), ils montrent qu'au cours des 50 ans suivant l'arrêt total des émissions, les températures globales cesseraient d'augmenter. Cette stabilisation résulte de l'équilibre entre un phénomène refroidissant, et un autre réchauffant. Après l'arrêt des émissions, la végétation et l'océan continueront d'absorber du CO_2. À mesure que sa concentration diminuera, le réchauffement associé aux gaz à effet de serre s'atténuera. À l'inverse, les océans, qui ont stocké une énorme quantité de chaleur, vont la restituer lentement dans l'atmosphère.

Ce qui est déterminant, c'est le moment où l'humanité atteindra les émissions nettes zéro, c'est-à-dire quand les activités humaines n'ajouteront plus de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, les émissions résiduelles étant compensées par ce qui est retiré de l'atmosphère. Tant que le réchauffement reste limité, arrêter les émissions suffira à stabiliser les températures. Mais plus on atteint la neutralité carbone tard, plus certains mécanismes d'absorption vont s'enrayer et l'effet de la chaleur accumulée dans les océans va devenir prépondérant. Si les émissions nettes ne tombent à zéro qu'autour de 3 à 4 °C de réchauffement global, un réchauffement résiduel d'environ 0,2 °C se produirait sur les cent prochaines années.

Si l'on élargit la question à l'ensemble de nos émissions ?

Il faut alors prendre en compte les gaz comme le méthane, d'une durée de vie courte de 10-12 ans. Si on arrête d'émettre ces gaz, on pourrait revenir d'ici 2100 à des valeurs proches des valeurs préindustrielles grâce aux mécanismes oxydatifs de l'atmosphère. La diminution du seul méthane pourrait entraîner un refroidissement d'environ 0,5 °C à l'échelle mondiale d'ici à la fin du siècle.

Restent les aérosols ?

Une question plus complexe, parce qu'ils ne sont pas homogènes et peuvent avoir un effet refroidissant ou réchauffant. Les aérosols refroidissants, notamment les sulfates issus de la combustion des énergies fossiles, sont prépondérants. Or, ces particules réfléchissent une partie du rayonnement solaire et contribuent à refroidir les continents. L'arrêt brutal de leurs émissions amènerait sans doute, dans un premier temps, à un réchauffement transitoire du climat. Il y aurait ainsi une phase d'ajustement du système durant dix à quarante ans, le temps que les aérosols soient lessivés de l'atmosphère. Deux scénarios se dessinent : soit un léger réchauffement rapide lié à la disparition des aérosols refroidissants ; soit, dans le cas théorique d'un monde gouverné uniquement par le CO_2, une stabilisation presque immédiate des températures. ■ **Propos recueillis par S. R.**

ET SI...

Les champignons n'avaient pas existé

Artisans méconnus du vivant, ces organismes contribuent largement à la stabilité climatique par l'émission massive de CO_2 et auraient même favorisé le développement de l'intelligence humaine.

Sans champignons, la vie sur Terre aurait été bien différente ! Omniprésents dans les sols, dans l'atmosphère, dans les eaux douces et marines, les mycéliums, ces filaments de quelques microns, influencent tous les compartiments biologiques et sont des acteurs majeurs de l'évolution. À l'origine de l'implantation des plantes sur les continents et de l'arrêt des gisements de charbon dans les couches géologiques, ils seraient aussi responsables de notre gros cerveau. Les 12 milliards de tonnes de ce qui n'est ni plante, ni animal, ont façonné cette planète.

Sciences et Avenir a raconté dans son numéro de décembre 2025, intitulé « Aux origines », comment les plantes ont bénéficié de l'aide précieuse des champignons pour réussir à s'acclimater aux rigueurs de la vie hors de l'eau. Il y a 500 millions d'années, les mycéliums ont entamé une coopération étroite avec les racines des végétaux, afin de les aider à assimiler les éléments minéraux présents dans les sols. Cet échange de services, la mycorhize, concerne toujours 90 % des plantes actuelles.

Un arsenal enzymatique unique au monde et redoutable

Pour mobiliser nitrate, phosphate et potasse, les champignons sont dotés d'un redoutable arsenal enzymatique, unique dans tout le monde vivant. Au cours de leur évolution, ces enzymes se sont transformées pour s'occuper non seulement de la nourriture de leur commensal, mais aussi de sa dégradation après sa mort. Entre 500 et 300 millions d'années en effet, les plantes gagnent en volume et en hauteur, en compétition pour la lumière. Elles développent pour cela une très grosse molécule, la lignocellulose.

Ce matériau est d'une solidité et d'une rigidité à toute épreuve. Les cellules du bois possèdent une paroi primaire, qui forme avec la lignine un réseau irrégulier aux propriétés élastiques, et une paroi secondaire, elle-même composée de trois couches constituées en proportions variables de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine. Ces cellules ligneuses sont reliées entre elles par une lamelle, ce qui permet leur assemblage en tissus. Cette construction complexe implique pour le dégradeur de posséder un arsenal étendu d'enzymes, capables de s'attaquer à tout ou partie

Ces différentes espèces fongiques (de gauche à droite : « Oudemansiella mucida », « Mycena renati », « Mucor mucedo » et « Serpula lacrymans ») assurent une fonction essentielle de dégradation et recyclage de la matière organique.

de ce puzzle moléculaire. C'est ce que les trois sortes de pourriture — molle, brune et blanche, toutes membres de la famille des Agaricomycètes — ont acquis et ce, pour une bonne raison : la lignocellulose, c'est dur à manger, mais c'est plein de sucres. C'est donc très nourrissant.

Et pour la planète, cela change tout. En juin 2012, une équipe franco-américaine publiait dans *Science* les résultats du séquençage de 31 génomes de membres de la famille des pourritures blanches. Les chercheurs sont ainsi remontés à l'ancêtre de ces décomposeurs. Ils ont déterminé l'époque de son apparition sur Terre, qui coïncide avec la fin de la formation des gisements de charbon. En l'absence, en effet, de dégradation de la lignocellulose, celle-ci subissait auparavant un processus de « houillification », où les végétaux enfouis sous les sédiments se solidifient lentement sous l'effet de la pression et de la chaleur. Les champignons ont, en quelque sorte, construit un système efficace de traitement des déchets verts. Quel aurait été l'effet à travers les ères géologiques d'une accumulation croissante de plantes fossiles dans le sol ? Personne n'est en mesure de répondre à cette question.

Cette fonction de décomposition donne, en revanche, aux champignons un rôle majeur et décisif dans la stabilité du climat de la planète. Quand ils rongent la lignocellulose, ils relarguent en effet dans l'atmosphère d'énormes quantités de dioxyde de carbone. Or, sans les 800 milliards de tonnes de ce CO_2 présent en permanence, il n'y aurait pas, ou moins, d'effet de serre et les températures seraient beaucoup plus basses qu'elles ne le sont aujourd'hui. De plus, les plantes ont besoin de ce CO_2 pour accomplir leur photosynthèse et donc croître. Les flux naturels sont équilibrés. Les plantes captent autour de 120 milliards de tonnes de carbone par an, et elles en relarguent autant par leur évapotranspiration et à travers la décomposition de la matière organique et de la lignocellulose.

Leur fonction de décomposition donne aux champignons un rôle majeur et décisif dans la stabilité du climat de la planète

Or, sur les 120 milliards de tonnes qui retournent dans l'atmosphère, 85 milliards proviennent du travail souterrain des champignons ! Le changement climatique en cours est produit par le déséquilibre créé par la combustion des énergies fossiles qui ont échappé à leur appétit, entre 500 et 300 millions d'années.

Mais il y a mieux ! Sans les champignons, il est probable que l'évolution de l'humain aurait été très différente. C'est ce qu'affirment Katherine Bryant de l'université Aix-Marseille, Christi Hansen du Hungry Heart Farm and Dietary Consulting à Conley (États-Unis) et Erin Hecht de l'université Harvard à Cambridge (États-Unis), dans un article paru en 2023 dans *Communications Biology*.

L'évolution de notre cerveau liée à un changement de diète

Ces trois chercheuses ont revisité l'hypothèse la plus plausible expliquant pourquoi, en 2 millions d'années, le volume du cerveau des hominidés a été multiplié par trois. L'examen des fossiles d'australopithèques montre en effet qu'ils possédaient alors un cerveau similaire à celui des grands singes actuels. Ce n'est pas la seule différence entre *Homo sapiens* et ses plus proches cousins. L'humain a un intestin dont la longueur est 60 % inférieure à celle d'un chimpanzé par exemple — principalement au niveau du colon.

Il est impossible évidemment d'expliquer par des preuves tangibles les raisons d'une telle modification physiologique. Mais l'examen des fossiles des premiers

S. VITZTHUM / BIOSPHOTO; G. DOUMA/NATUREL/EBPHOTO; S. VITZTHUM / BIOSPHOTO; L. CAMPBELL / PHOTOSHOT / BIOSPHOTO

hominidés et les études comparatives sur les mammifères actuels font penser que c'est un changement de diète qui a mené à cette évolution. Les tissus cérébraux exigent en effet beaucoup d'énergie, mais ceux du système digestif également. L'hypothèse la plus courante, c'est qu'en consommant de la viande, les ancêtres des humains auraient eu moins besoin d'énergie pour digérer les aliments, provoquant ainsi une réallocation de ces calories vers le cerveau. Comment ces hominidés s'en sont-ils procuré ? Les humains ne sont devenus des chasseurs réguliers que dans les derniers millénaires du paléolithique et le feu a été domestiqué autour de 300 000 ans. Il faut donc imaginer que l'évolution a commencé par un charognage « actif », les hominidés suivant les grands carnassiers pour pouvoir se nourrir sur les carcasses fraîches. Mais

Si les champignons n'avaient pas existé, il n'y aurait pas d'« Homo sapiens »

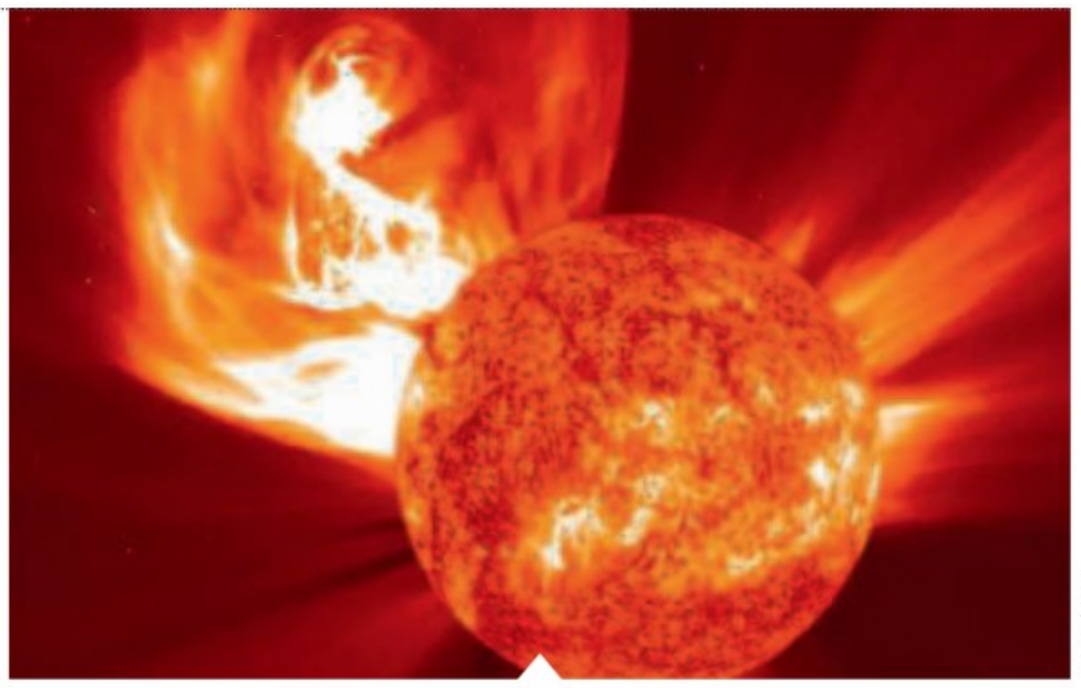
une autre hypothèse table sur l'influence des tubercules de plantes.
Bryant, Hansen et Hecht proposent une voie alternative : les produits fermentés, un phénomène provoqué par les levures, des membres à part entière du règne des champignons. Ils font ainsi remarquer que ce type d'aliments, qui représentent aujourd'hui entre 10 et 40 % du régime des humains selon les régions et les appartenances socioculturelles, ont des effets bénéfiques importants sur la digestion, notamment en favorisant l'équilibre du microbiome humain, ces deux kilos de bactéries et de champignons qui tapissent le système digestif interne. *« L'ingestion de ces produits fermentés fournit quatre éléments essentiels à la digestion et l'absorption,* écrivent les auteures. *Premièrement, cela accroît la digestibilité de la nourriture. Deuxièmement, cela augmente la disponibilité en micronutriments. Troisièmement, cela améliore la fermentation intestinale, en favorisant la diversité de la microflore intestinale. Et quatrièmement, cela favorise les fonctions immunitaires et la résistance aux agressions du microbiome intestinal.* » Pour elles donc, *« ces bénéfices auraient constitué des avantages adaptatifs pour nos premiers ancêtres et pourraient avoir joué un rôle clé dans l'évolution du cerveau humain »*. Et si les champignons n'avaient pas existé, il n'y aurait pas d'*Homo sapiens* non plus. ■

Loïc Chauveau

ET SI...

Une tempête solaire majeure survenait

« *Nous ne sommes clairement pas aussi préparés que nous devrions l'être* », alerte Doreen Bogdan-Martin, directrice de l'Union internationale des communications (UIT), évoquant la menace grandissante d'une « *pandémie numérique* » : une panne Internet mondiale. Elle ne serait pas causée par un virus informatique ou une cyberattaque, mais par un choc provoqué par une tempête solaire extrême, détaille un rapport réalisé par le Bureau des Nations unies pour la réduction des risques de catastrophe, l'UIT et Sciences Po Paris. Des bouffées exceptionnelles de particules énergétiques émises par notre étoile pourraient déclencher, en effet, des défaillances en cascade, touchant d'abord les satellites de télécommunications et de navigation ainsi que les réseaux électriques, puis les centres de données, Internet, les systèmes bancaires, les transports ou encore les hôpitaux. L'étude prend pour référence l'évènement de Carrington de 1859, la plus puissante tempête solaire de l'ère moderne bien documentée. En atteignant la Terre, les gigantesques bulles de gaz ionisé éjectées par le Soleil avaient engendré des aurores jusqu'aux régions tropicales et fait dérailler les réseaux télégraphiques *« qui étaient en quelque sorte l'Internet de l'époque »*, rappelle Doreen Bogdan-Martin. De tels épisodes surviendraient tous les 150 à 200 ans, sans que les astrophysiciens puissent pour le moment les prévoir. Selon l'assureur britannique Lloyd's of London, la facture pourrait atteindre 2600 milliards de dollars rien qu'aux États-Unis. ■ **F. D.**



NASA/SDO

Éjection de matière et de particules par notre étoile, observée en 2022 (superposition d'images).

VICTOR J. BLUE/THE NEW YORK TIMES/REA

Épidémies, suicides, consommation de psychotropes, conflits armés ou crise économique peuvent être à l'origine d'un recul de la longévité dans certains pays.

ET SI...

L'espérance de vie venait à baisser

Bien qu'elle ait doublé en un siècle, la durée de vie moyenne voit sa progression ralentir, et parfois même s'inverser, sous l'effet de crises sanitaires, économiques ou sociales. Priorité est désormais donnée à une nouvelle cible : l'espérance de vie en bonne santé.

Régime méditerranéen, consommation de thé, activité physique… Les habitudes de vie des centenaires sont passées au crible dans l'espoir de comprendre d'où ils tiennent leur longévité. Alors que l'espérance de vie mondiale était d'environ 32 ans en 1900, elle a plus que doublé en un peu plus d'un siècle, dépassant 71 ans en 2021, grâce aux vaccins, aux antibiotiques (après la Seconde Guerre mondiale), ainsi qu'aux campagnes de santé publique mondiales du XX^e siècle. Partie sur une si bonne lancée, l'espérance de vie a de quoi nous faire rêver. Pourtant, cette impressionnante progression a du plomb dans l'aile. Régulièrement, l'espérance de vie stoppe sa progression et régresse pour des raisons sanitaires ou sociales. Dans les années 1990, elle est passée en Russie de 63,9 à 57,7 ans, en quatre ans seulement. Une baisse attribuée à l'alcoolisme, à la hausse des suicides et à la crise économique, selon une étude du *Journal of the American Medical Association* (*Jama*). Au même moment, en Afrique subsaharienne, l'épidémie de VIH fait perdre jusqu'à dix ans d'espérance de vie dans certains pays. Plus récemment, aux États-Unis, la longévité est passée de 76,4 à 76,1 ans, en raison de l'explosion de la consommation d'opioïdes et de la crise du Covid-19, rapporte encore une fois le *Jama*.

En parallèle, après tant de progrès liés à l'avancement de la science et de la médecine, l'humanité semble avoir atteint un plafond de verre. Aujourd'hui, l'espérance de vie progresse beaucoup plus lentement qu'avant, voire se met à stagner dans certains pays.

« *Une fois qu'un pourcentage suffisamment élevé des cohortes de naissance survit au-delà de 65 ans au sein des populations nationales, le processus biologique du vieillissement devient le principal facteur de risque de décès* », explique Jay Olshansky, professeur d'épidémiologie à l'école de santé publique de l'université de Chicago, qui, dans les années 1990, prédisait la baisse de l'espérance de vie aux États-Unis dès l'an 2000. « *Autrement dit, le ralentissement de la progression de l'espérance de vie résulte des progrès de la médecine moderne et des modifications des modes de vie, qui permettent à un nombre suffisant de personnes d'être confrontées à la force désormais inéluctable du vieillissement.* » Aujourd'hui, le consensus va dans le sens d'un ralentissement, voire d'une inversion de cette progression, tant les « gains faciles » du XX^e siècle semblent être derrière nous.

L'absence d'incapacité, critère du bon vieillissement

Dès lors, à côté de l'espérance de vie, une nouvelle notion s'est peu à peu imposée : celle de l'espérance de vie en bonne santé. « *Il faut, bien sûr, se soucier des deux. Mais une fois que la plupart des gens bénéficieront d'une espérance de vie prolongée, l'attention devrait sans aucun doute se porter sur la durée de vie en bonne santé plutôt que sur la durée de vie tout court.* » Vivre mieux, plutôt que vivre plus longtemps à tout prix, en somme. En France, l'espérance de vie est de 80 ans pour les hommes et de 85,6 ans pour les femmes, selon l'Insee. En comparaison, l'espérance de vie sans incapacité à la naissance est de 65,3 ans pour les femmes et de 63,8 ans pour les hommes. L'âge moyen d'espérance de vie sans incapacité sévère s'établit à 77,5 ans pour les femmes et à 73,5 ans pour les hommes. ■

Coralie Lemke

ET SI...

La Terre était frappée par un astéroïde tueur

Impacteurs spatiaux, missions de surveillance, arme nucléaire... Face à un astéroïde menaçant, l'humanité dispose déjà de plusieurs options. À une condition toutefois : avoir le temps d'agir, comme nous l'explique l'astrophysicien Patrick Michel.

Pourrions-nous faire face à un astéroïde qui se dirigerait tout droit vers notre planète ?
Dans une certaine mesure, oui ! Nous avons déjà réalisé d'immenses progrès, et les années qui viennent nous prépareront encore mieux à éviter ce type de catastrophe. Mais il n'y a pas de réponse unique. Tout dépend du scénario auquel l'humanité serait confrontée, et notamment de la taille de l'objet menaçant — de quelques dizaines de mètres, comme celui qui explosa en 1908 au-dessus de la Sibérie centrale, balayant 2000 km² de forêt, à des corps bien plus massifs dépassant 10 km, à l'instar de l'astéroïde qui s'écrasa il y a 66 millions d'années au sud-est du Mexique, provoquant l'extinction de 70 % des espèces dont les dinosaures non aviens. D'autres paramètres seraient déterminants : le niveau de certitude du risque de collision ; la nature poreuse ou compacte de l'astéroïde, provoquant sa désintégration dans l'atmosphère ou un impact sur le sol ; sans oublier le délai dont nous disposerions pour agir. Car toute stratégie de défense planétaire repose d'abord sur l'anticipation : plus l'astéroïde est détecté tôt, plus les marges de manœuvre seront importantes.

SYSPEO/SIPA

Patrick Michel, astrophysicien au CNRS, à l'observatoire de la Côte-d'Azur et à l'Agence spatiale européenne, vient de publier « La Défense planétaire contre les astéroïdes » (Odile Jacob, 2026).

Quels sont les types d'astéroïdes qui nous menacent le plus ?
Les objets de plus de 10 km susceptibles de croiser l'orbite de la Terre sont rarissimes — on n'en connaît seulement quatre — et leurs fréquences d'impact sont extrêmement faibles, tous les 100 à 200 millions d'années. Ceux d'un diamètre compris entre 1 et 10 km ne percutent notre planète que tous les 500 000 ans environ, en libérant une énergie équivalente à 5 millions de bombes d'Hiroshima ! Il en existe un peu plus de 1000 et aucun ne présente de danger pour les prochains siècles. L'attention se concentre donc sur les géocroiseurs de plus 140 mètres, seuil au-delà duquel un astéroïde pourrait dévaster une région entière et raser instantanément un pays comme la Belgique. Ces objets s'écrasent sur notre planète tous les 20 000 ans en moyenne. Il n'y a donc pas de raison de s'affoler, mais il faut se préparer.

Les objets de plus de 140 mètres ont-ils tous été identifiés ?
Depuis les années 2000, les astronomes en ont repéré un peu plus de 10 000. Et là encore, aucun ne nous menace. Mais l'inventaire reste très incomplet : il en existerait 15 000 autres dont on ne sait rien pour le moment. Prévu en 2027, le lancement du télescope spatial NEO Surveyor de la Nasa changera la donne. En captant le rayonnement thermique des petits corps sombres, peu réfléchissants et difficiles à détecter depuis la Terre, il complétera ce catalogue en une dizaine d'années. Il fournira non seulement la trajectoire mais aussi la taille de ces ennemis potentiels. D'ici à 2040, nous saurons si de tels astéroïdes pourraient tomber sur Terre et à quelle échéance.

SPL/ SUCRÉ SALÉ

La sonde Dart, juste avant de percuter l'astéroïde Dimorphos afin d'en dévier la trajectoire (vue d'artiste). L'opération a été couronnée de succès en septembre 2022.

Et si c'était effectivement le cas ?
Plusieurs méthodes ont été imaginées pour modifier la course d'un astéroïde, et l'une d'elles a même été testée. C'est la plus mature, sans doute la plus efficace contre les objets de plus de 140 mètres. Elle consiste à projeter un impacteur sur le corps menaçant. La Nasa en a fait la démonstration en 2022 avec Dart : un engin de 580 kg lancé à 22 000 km/h contre la lune Dimorphos de l'astéroïde double Didymos, à 11 millions de km de la Terre, dont l'impact a modifié sa trajectoire orbitale. En novembre 2026, la sonde européenne Hera rejoindra ce rocher spatial de 150 m pour l'étudier au plus près — une mission dont je suis l'investigateur principal. Les conséquences de l'impact de Dart seront alors mesurées, tout comme la masse et la structure interne de Dimorphos. Autant d'informations qui permettront de déterminer l'efficacité réelle de cette technique et de calibrer nos modèles pour les extrapoler à une variété de scénarios. Une limite est déjà claire : à l'échelle d'un astéroïde de plusieurs millions de tonnes, un impacteur du gabarit de Dart ne donne qu'une « pichenette » cosmique. Pour qu'un objet comparable à Dimorphos manque la Terre, il faudrait agir très en amont, plusieurs décennies avant la collision annoncée.

« Pour de nombreux astéroïdes, les risques de collision ne pourront être totalement exclus qu'au terme d'un long suivi »

C'est considérable !
C'est pourquoi les astéroïdes menaçants doivent être identifiés le plus tôt possible. Si le temps de réaction est plus réduit, disons une dizaine d'années, on pourrait utiliser des projectiles plus lourds, jusqu'à une certaine limite. Plusieurs impacteurs pourraient être tirés aussi simultanément, ou l'un près l'autre, afin d'additionner leurs effets. Si le délai est encore plus court, ou pour dévier des astéroïdes beaucoup plus massifs, il faudrait probablement employer des bombes nucléaires. Il ne s'agirait pas de pulvériser l'astéroïde, car des débris irradiés tomberaient de façon incontrôlée sur la Terre. L'idée serait plutôt de faire détonner une charge à distance de l'objet. Les neutrons et rayons X émis arracheraient une importante couche de matière à sa surface, produisant une forte poussée capable d'infléchir sa course. Mais cette méthode ne peut et ne doit pas être testée grandeur nature. Depuis 1967, les explosions nucléaires dans l'espace sont interdites par les traités internationaux. Si l'humanité devait l'utiliser un jour, elle le ferait donc sans répétition générale. Une solution de dernier recours.

Comment être certain qu'un astéroïde percuterait la Terre ?
On peut le savoir en reconstituant son orbite, puis en calculant si cette trajectoire atteint la Terre au même endroit et au même moment. Au départ, les calculs ouvrent sur un large éventail de solutions possibles. Et tant que la Terre se trouve dans cette zone d'incertitude, l'impact reste possible, avec une certaine probabilité. La trajectoire se précise en accumulant les observations, ce qui a permis jusqu'ici d'exclure tout risque de collision avec des objets dangereux. ▶

En février 2025, il y avait ainsi 3 % de chance pour que l'astéroïde 2024YR4 (un corps d'environ 50 m découvert deux mois plus tôt) s'écrase sur Terre le 22 décembre 2032. Un mois plus tard, à mesure que son orbite était affinée, la probabilité retombait toutefois à zéro. Mais cette vérification peut être bien plus longue. Dans le cas d'Apophis, un géocroiseur de 340 m découvert en 2004, il avait fallu neuf ans pour écarter la possibilité d'un impact en 2036. Une situation qui a de fortes chances de se reproduire : pour de nombreux astéroïdes, les risques de collision ne pourront être totalement exclus qu'au terme d'un long suivi. Cette incertitude ouvre un autre front, politique cette fois. Car les pouvoirs publics devront probablement décider, dans le temps court de leurs mandats, de lancer une mission de déviation contre un astéroïde dont le risque d'impact, prévu des décennies plus tard, resterait faible et incertain — mais aux conséquences potentiellement cataclysmiques.

« L'Union européenne et d'autres pays cherchent à développer leurs propres capacités de défense planétaire »

Qui prendrait ce type de décision ?
Deux groupes de travail ont été mis en place en 2013, sous l'égide de l'ONU, afin d'organiser des réponses coordonnées. Il s'agit d'abord du Réseau international d'alerte aux astéroïdes, dont je fais partie, qui vise à détecter, suivre et caractériser les objets menaçants. Le second est le Groupe consultatif pour la planification des missions spatiales, qui rassemble les agences spatiales internationales et se concentre sur les scénarios d'intervention. Mais ni ces comités ni les Nations unies ne disposent d'un pouvoir de décision. Les États restent souverains, ce qui soulève des questions vertigineuses. Dans le contexte géopolitique actuel, les États-Unis accepteraient-ils de financer une mission de déviation si le seul territoire européen était menacé ? C'est pourquoi l'Union européenne, et d'autres pays, cherchent à développer leurs propres capacités de défense planétaire. La Chine, en particulier, devrait envoyer fin 2027 deux sondes vers l'astéroïde 2015 XF261 de 30 mètres de large : l'une pour le percuter, l'autre pour observer en temps réel les conséquences de l'impact. ■

Propos recueillis par F. D.

ET SI...

On maîtrisait la cryopréservation

Trois questions au Dr Alexander German, coauteur d'une nouvelle technique de vitrification qui permet de préserver le tissu cérébral d'une souris et de garder les synapses fonctionnelles après décongélation.

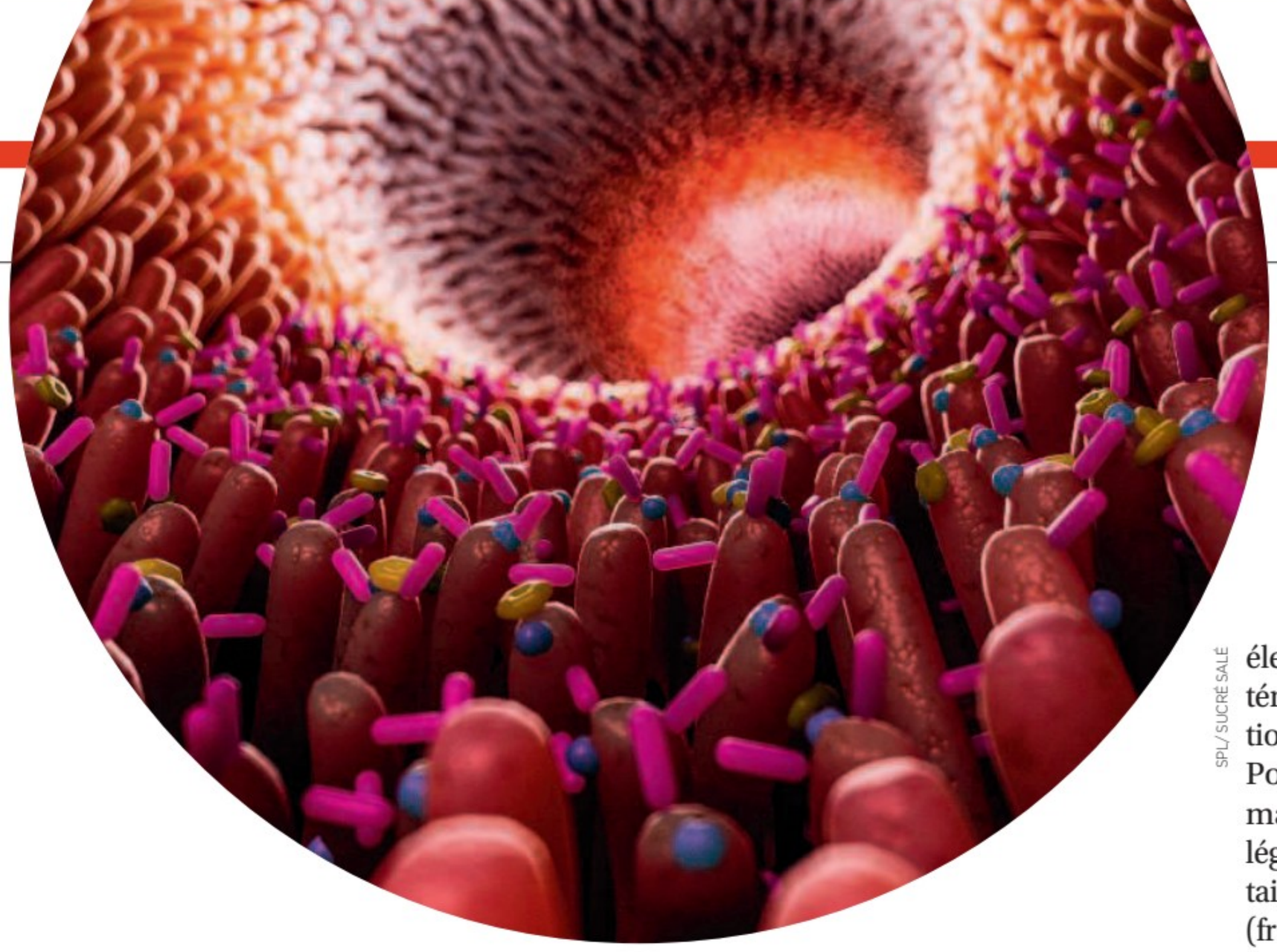
Pourquoi conserver des tissus cérébraux humains congelés ?
À court terme, cela permettrait de remplacer certaines expérimentations animales dédiées à la recherche sur les maladies neurodégénératives. Pour la maladie d'Alzheimer, on utilise un modèle murin génétiquement modifié pour développer une pathologie ressemblant à Alzheimer mais qui n'est pas Alzheimer. Cette approche imparfaite n'aboutit pas à un traitement curatif. À la place, on pourrait prélever des tissus cérébraux lors de l'autopsie d'un patient avec Alzheimer puis les congeler. Ces échantillons pourraient être utilisés des années plus tard pour tester de nouveaux candidats-médicaments.

A. GERMAN

Alexander German, chercheur en neurologie moléculaire à l'hôpital universitaire d'Erlangen (Allemagne).

Et les objectifs à moyen terme ?
Si on arrive à cryopréserver des organes entiers, il y aura des bénéfices pour les greffes d'organes. Une fois prélevé, un cœur doit être transplanté dans un délai de 4 à 6 heures. Une congélation partielle permettait d'allonger ce délai à quelques jours ou semaines, et de planifier des greffes d'un continent à un autre. La technique de vitrification permettrait, elle, de conserver les tissus pendant des siècles !

Pourra-t-on cryopréserver un corps et le réveiller des années après ?
Je suis prudemment optimiste à ce sujet. Nous sommes, hélas, encore très loin des visions futuristes des films de science-fiction, de voyages dans le temps, d'explorations de planètes lointaines ou de cryoconservation d'un patient dans l'attente d'un traitement. ■ **Propos recueillis par Chisato Goya**



SPL/ SUCRÉ SALÉ

L'intestin abrite jusqu'à cent milliards de bactéries par gramme, en symbiose avec notre organisme.

ET SI...

Le microbiote guidait nos choix alimentaires

Cet écosystème essentiel à notre digestion et à notre santé globale est mieux compris aujourd'hui, mais aucun consensus n'existe sur la définition d'un microbiote sain. On sait cependant que certains aliments ont un rôle clé dans son équilibre… ou son déséquilibre.

Depuis le début des années 2000, la métagénomique, qui permet d'analyser directement l'ADN des bactéries présentes dans les selles, a amélioré notre compréhension du microbiote intestinal. Plusieurs entreprises proposent aujourd'hui d'analyser ce microbiote pour personnaliser l'alimentation. Mais cette approche est-elle scientifiquement fondée ?

Malgré les progrès réalisés, il n'existe toujours pas de définition consensuelle d'un microbiote sain, rappelle Mélanie Deschasaux-Tanguy, coordinatrice du volet microbiote de la cohorte Nutri-Net-Santé. En revanche, certaines de ses fonctions essentielles sont bien connues, notamment la digestion des fibres fermentescibles, souligne Joël Doré, directeur de recherche à l'Inrae (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement). Non digérées dans l'intestin grêle, ces fibres atteignent le côlon où elles sont fermentées par les bactéries. Cette fermentation produit des molécules essentielles, notamment le butyrate, explique Joël Doré. Elle nourrit les cellules du côlon et favorise une bonne santé intestinale en régulant le système immunitaire.

Cet exemple illustre l'importance de préserver l'équilibre entre l'hôte et son microbiote, en consommant suffisamment de fibres. La diversité du microbiote est également essentielle : plus elle est élevée, plus l'organisme résiste aux bactéries pathogènes et bénéficie d'interactions favorables avec les autres organes. Pour l'encourager, Joël Doré recommande non seulement cinq fruits et légumes par jour, mais surtout une trentaine de végétaux différents par semaine (fruits, légumes, légumineuses, céréales complètes, noix et graines).

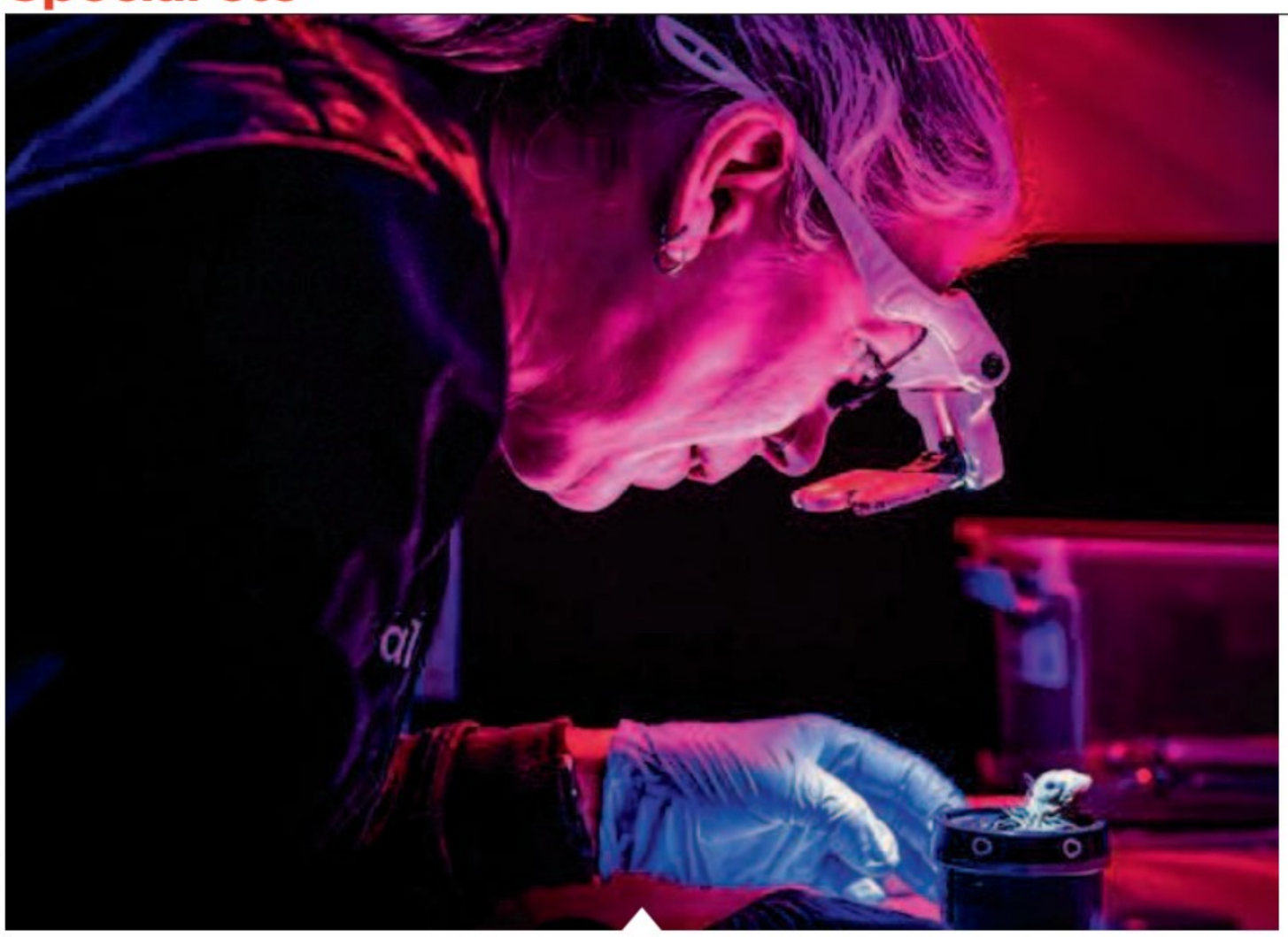
Un socle bactérien variable selon les individus

Benoît Chassaing, spécialiste de ces questions à l'Institut Pasteur, conseille également de limiter la consommation d'aliments ultratransformés. *« Mes travaux ont montré que certains additifs, comme les émulsifiants, peuvent perturber le microbiote intestinal et favoriser une inflammation chronique associée à certaines maladies, tel que le diabète de type 2. »* Cependant, des résultats récents ont mis en évidence une complexité supplémentaire : les effets des émulsifiants ne sont pas uniformes. *« Certaines personnes y sont très sensibles, tandis que d'autres semblent y résister »*, observe Benoît Chassaing.

De même, au concept de « core microbiota », c'est-à-dire un socle commun de bactéries présent chez les individus en bonne santé, les scientifiques préfèrent celui de « core fonctionnel », non plus défini par des bactéries strictement identiques chez tous les individus, mais par des fonctions similaires assurées par des micro-organismes différents, précise Mélanie Deschasaux-Tanguy.

Aussi, malgré l'existence de quelques recommandations générales, il demeure impossible à ce stade d'élaborer des régimes alimentaires personnalisés fondés sur le microbiote. À court terme, ces approches relèveront plutôt de la thérapie ciblée, estiment les trois scientifiques. ■

Isabelle do O'Gomes



FERRARI/STARFACE

Ce poussin est né en mai dernier d'un œuf artificiel développé par la société Colossal Biosciences, qui rêve de préparer la désextinction d'oiseaux disparus comme le moa.

ET SI...

On faisait revivre des espèces éteintes

La possibilité de créer des hybrides d'espèces disparues pour les réintroduire dans la nature divise profondément les chercheurs... qui mobilisent tous l'argument écologique.

Après le dodo, le thylacine ou le loup sinistre, Colossal Biosciences travaille sur un projet de désextinction de l'antilope Bluebuck, disparue depuis 1800 des prairies côtières de la région du Cap (Afrique du Sud). La société américaine de biotechnologies ne va pas recréer une réplique à l'identique de l'espèce éteinte, mais réaliser des modifications génétiques touchant simultanément plusieurs gènes de son parent proche encore existant, l'antilope rouanne. Jusqu'à présent, aucune vraie désextinction n'a été réalisée, mais que se passerait-il si ces espèces hybrides dites « proxy » étaient réintroduites dans la nature ? Les avis divergent. Pour Tatiana Giraud, chercheuse en évolution, écologie et biodiversité au CNRS, *« c'est une fausse bonne idée aux conséquences imprévisibles et risquées. Ces espèces hybrides pourraient menacer d'autres espèces, on ne sait pas si elles pourront survivre ou se défendre des nouveaux pathogènes. Et surtout, cela donne la fausse idée que l'extinction est réversible. »* Andrew Pask, directeur de la biologie à Colossal Biosciences, défend l'idée que *« réintroduire des superprédateurs serait le plus bénéfique pour retrouver des écosystèmes plus équilibrés et fonctionnels »*. Le professeur de génétique et de biologie de la conservation à l'université de Melbourne (Australie) affirme que la réintroduction du thylacine en Tasmanie annulerait l'effet domino écologique produit par sa disparition : *« Aujourd'hui, il y a une surpopulation de wallabys à cou rouge et de pademelons, qui dévorent la végétation locale. Il en reste alors moins pour les oiseaux, qui sont de plus attaqués par les chats qui ont envahi les forêts en l'absence des thylacines. En chassant en priorité les proies malades et affaiblies, ces derniers limiteraient aussi la propagation de la tumeur faciale transmissible du diable de Tasmanie. »*

Restaurer les rôles fonctionnels des grands herbivores

« Les cascades trophiques induites par les prédateurs sont bien avérées, mais leurs effets sont souvent plus faibles et dépendent davantage du contexte que les effets directs des grands herbivores », estime Jens-Christian Svenning, directeur du Centre pour les dynamiques écologiques dans une nouvelle biosphère (Econovo) de l'université d'Aarhus (Danemark). Le chercheur privilégierait *« les grands à très grands herbivores qui occupaient des rôles fonctionnels actuellement vacants à l'échelle du paysage dans la plupart des régions »*.

Parmi les espèces choisies par Colossal Biosciences, *« le mammouth laineux serait le plus justifié : c'était un méga-herbivore clé dont le broutage, le piétinement et le cycle des nutriments ont probablement façonné les vastes systèmes de prairies et de toundra d'Eurasie et d'Amérique du Nord pendant des millénaires »*, rappelle-t-il. Mais plutôt que de miser sur des technologies de désextinction, Jens-Christian Svenning préconise *« l'utilisation d'espèces existantes, y compris des espèces introduites lorsque cela est approprié, pour restaurer les rôles fonctionnels laissés vacants depuis les extinctions du pléistocène »*. ■

C. G.

LES CROISIÈRES DU SAVOIR SCIENCES ET AVENIR

www.croisiere-du-savoir.fr

DES VOLCANS ET DES HOMMES
Une odyssée méditerranéenne

du 23 octobre au 1er novembre 2026

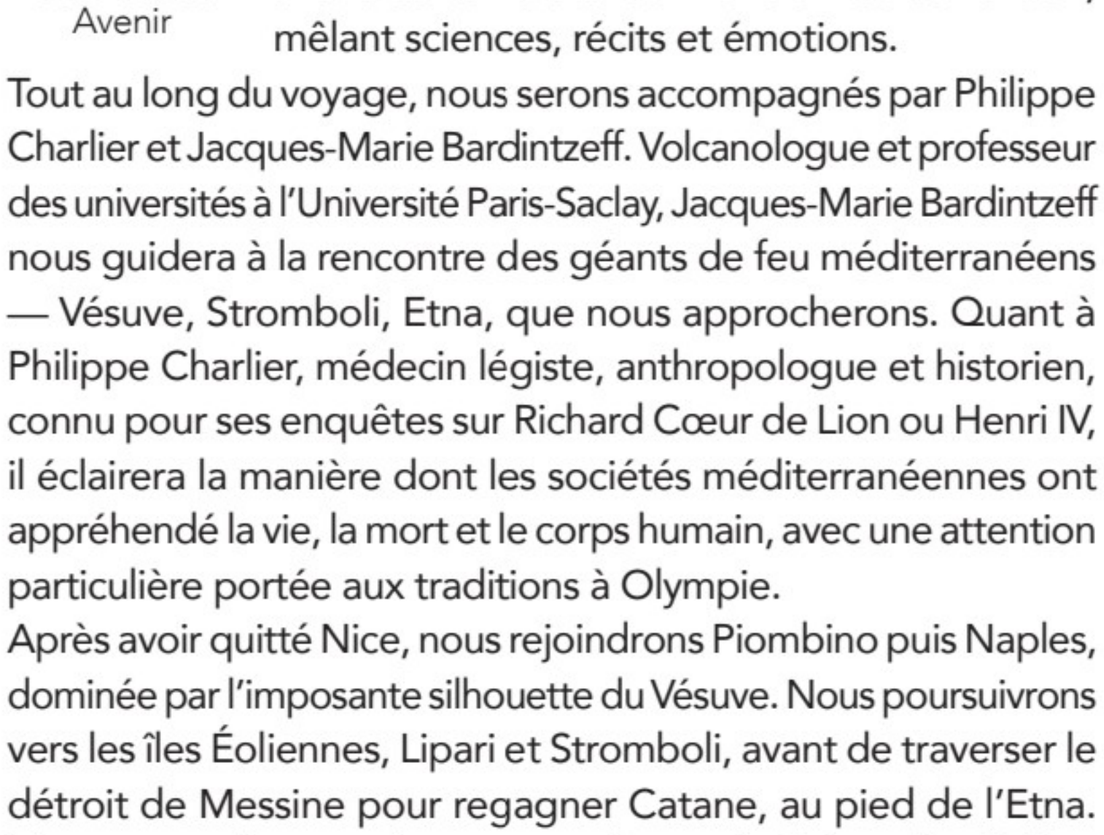
10 JOURS - 9 NUITS

Mathieu Nowak
Rédacteur en chef de Sciences et Avenir

En octobre 2026, *Sciences et Avenir* vous propose d'embarquer pour une nouvelle « Croisière du savoir » en compagnie de deux éminents scientifiques. Cette année, nous vous invitons à explorer un bassin méditerranéen façonné à la fois par les forces du feu et par les grandes civilisations qui l'ont peuplé. De Nice à Istanbul en passant par l'Italie, la Sicile et la Grèce, cette odyssée offrira une lecture inédite du monde méditerranéen, mêlant sciences, récits et émotions.

Tout au long du voyage, nous serons accompagnés par Philippe Charlier et Jacques-Marie Bardintzeff. Volcanologue et professeur des universités à l'Université Paris-Saclay, Jacques-Marie Bardintzeff nous guidera à la rencontre des géants de feu méditerranéens — Vésuve, Stromboli, Etna, que nous approcherons. Quant à Philippe Charlier, médecin légiste, anthropologue et historien, connu pour ses enquêtes sur Richard Cœur de Lion ou Henri IV, il éclairera la manière dont les sociétés méditerranéennes ont appréhendé la vie, la mort et le corps humain, avec une attention particulière portée aux traditions à Olympie.

Après avoir quitté Nice, nous rejoindrons Piombino puis Naples, dominée par l'imposante silhouette du Vésuve. Nous poursuivrons vers les îles Éoliennes, Lipari et Stromboli, avant de traverser le détroit de Messine pour regagner Catane, au pied de l'Etna. Notre traversée se prolongera ensuite vers la Grèce : Katakolon, porte d'accès au site d'Olympie ; puis Gythion, proche de la byzantine Mystra. Une escale à Syros précédera enfin notre arrivée à Istanbul, carrefour de l'Orient et de l'Occident.



Vos accompagnateurs Sciences et Avenir*

Philippe Charlier

Médecin légiste, anthropologue et historien, ancien directeur du département de la Recherche et de l'Enseignement au musée du Quai-Branly-Jacques-Chirac, maître de conférences à l'université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines.

Jacques-Marie Bardintzeff

Volcanologue et professeur des universités à l'université Paris-Saclay, auteur de nombreux ouvrages dont « Volcanologue » (L'Harmattan, 2e édition, 2025).

Notre croisière se déroulera à bord du « MS Hamburg », un navire à taille humaine n'accueillant pas plus de 380 passagers avec trois espaces de conférences. Il répond aux dernières exigences environnementales sur les carburants, échappement et traitement des déchets. Il est exploité avec du diesel marin à faible teneur en soufre au lieu de l'huile lourde, conformément aux normes ISO actuelles et aux spécifications de MARPOL / OMI. Toutes les eaux usées sont traitées et purifiées avant d'être renvoyées hors du navire en qualité d'eau potable.

* non contractuel, sous réserve de disponibilité.

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS

PLEIN CAP « Croisières du Savoir »
CROISIÈRES PLEIN CAP : 251 ROUTE DE LA COLLE - 06270 VILLENEUVE-LOUBET
info@plein-cap.com - Tél. 04 93 20 21 20

L'Ardal, robot terrestre armé d'un lance-grenade MK19 d'une précision redoutable, a probablement participé le 14 avril à la reprise d'une position ennemie. Sur les vignettes ci-dessus, il a filmé la reddition de soldats russes grâce à sa caméra embarquée.

Ukraine

Dans l'usine secrète des robots de guerre

En Ukraine, des robots remplacent les soldats sur le front pour épargner à l'infanterie les tâches les plus risquées. Reportage exclusif dans une usine secrète que « Sciences et Avenir » a été exceptionnellement autorisé à visiter. Elle fabrique ces néo-soldats dont l'importance ne cesse de grandir dans les rangs de l'armée ukrainienne.

Textes et photos : Pierre Terraz et Paul Boyer

Voûté au-dessus de son poste à souder, un jeune ouvrier sue à grosses gouttes derrière son masque de protection, dans une lourde combinaison bleue noircie par la poussière. Entre deux coups de torche sur un morceau de fonte brûlant, il relève la visière de son casque pour s'essuyer le front, et observe de près les coutures métalliques qu'il trace minutieusement sur le métal. Les machines, même les plus sophistiquées, naissent d'abord du rude labeur de l'humain. Nous sommes quelque part dans la région de Kiev, en Ukraine. À l'intérieur d'immenses barres d'immeubles qui semblent désaffectés, 300 employés s'affairent sur cette chaîne de production hautement sensible. Autorisés à visiter cette usine secrète, ce qui est exceptionnel, nous avions l'obligation de désactiver la géolocalisation de nos téléphones aux abords du site. *« Il y a quelques semaines, un missile s'est écrasé non loin d'ici. On ne sait pas si c'est notre emplacement qui était visé, il y a tellement de frappes sur la région ces temps-ci »,* justifie Olha Harbovska, cheffe de la communication de l'entreprise d'armement Burevii, qui encadre notre venue.

Depuis le début de la guerre, la firme ukrainienne met la totalité de ses moyens au

CONTEXTE

Le 14 avril 2026, le président ukrainien Volodymyr Zelensky a annoncé la reprise d'une position russe (dans une zone restée secrète) en n'engageant aucun soldat, mais uniquement une combinaison de drones aériens et de robots terrestres téléopérés. Une première mondiale. En face, les fantassins russes se seraient rendus en levant les mains devant les caméras embarquées des drones, avant que ceux-ci ne les guident vers une zone de captivité.

service de l'armée. La compagnie fait partie du cluster de défense « Brave1 » : une plateforme centrale de coordination lancée par le gouvernement en avril 2023, visant à fédérer les industriels du secteur pour accélérer le déploiement de technologies avancées sur le front. Alors que l'essor des drones kamikazes n'est plus un secret pour personne en Ukraine, l'entreprise Burevii se distingue plutôt par son implication dans des solutions robotiques terrestres.

Son fleuron, une sorte de petit char tout-terrain de la taille d'un Caddie de supermarché, a été baptisé Ardal. Ce véhicule sans pilote contrôlé à distance (que l'on appelle communément UGV, pour Unmanned ground vehicles) est apprécié des soldats pour sa polyvalence. À l'origine, le buggy sert surtout en logistique pour approvisionner des positions d'infanterie en vivres, en munitions et pour évacuer les blessés. Une tâche autrefois réservée à des conducteurs bravant tous les dangers.

Dans une usine, non loin de Kharkiv et de la frontière russe, un technicien s'attelle à la confection d'un drone FPV destiné au front de Koupiansk.

Véhicules terrestres et drones aériens sont combinés

« Nous avons effectué 92 modifications sur ce modèle depuis le début de la guerre, indique un manutentionnaire, au cœur d'un entrepôt où sont alignés une cinquantaine de véhicules. *Il a notamment été équipé d'une tourelle robotique baptisée* Burya [tempête en ukrainien]. » Développé par Frontline Robotics, autre entreprise du cluster Brave1, ce bras armé manie le lance-grenade Mk19 avec une précision inégalée. Disposant d'un calculateur balistique de nouvelle génération, il peut toucher sa cible jusqu'à 2 kilomètres de distance, sans la voir. Son programme est capable de fonctionner pendant 48 heures et d'enregistrer jusqu'à 256 positions à neutraliser, ce qui lui permet de dévaster des zones d'impact entières plutôt que des points précis. C'est davantage que ce dont ne sera jamais capable le meilleur tireur du pays. Ce type d'UGV armé s'est illustré comme l'un des acteurs de la reprise inédite d'une position russe sans l'intervention d'un seul fantassin, annoncée en avril par Volodymyr Zelensky.

L'opération a combiné des véhicules terrestres armés et des drones aériens d'attaque et d'observation pour les guider. Sur une vidéo d'abord publiée sur la messagerie Telegram, puis relayée par les médias du monde entier, on peut apercevoir deux soldats russes sortir de la cour d'une maison, les mains en l'air, se rendre face à ce qui ressemble à la caméra frontale d'un UGV. Sans dévoiler précisément quelle combinaison de robots a contribué au succès de cette offensive, pour ne pas mettre en danger les constructeurs ni révéler la stratégie de l'armée ukrainienne, Volodymyr Zelensky a souligné l'efficacité de l'Ardal lors de son allocution.

Des modifications constantes après retour du terrain

Côté ukrainien, faire sortir les drones des laboratoires est devenu indispensable pour compenser la pénurie d'effectifs pour tenir le front, alors que la Russie parvient à mobiliser chaque mois plus de 30 000 soldats. Très utilisé pour les opérations de première ligne, l'Ardal dispose d'une portée de 50 kilomètres. Sa vitesse varie entre 10 et 15 kilomètres par heure, en fonction de la difficulté du terrain pratiqué et de la charge — il peut transporter jusqu'à 250 kilogrammes de matériel. *« Son but n'est pas d'être rapide, mais d'être robuste, endurant et fiable,* précise Olha Harbovska. *Généralement, l'opérateur qui manie le robot à terre est guidé par un drone aérien de reconnaissance qui peut avoir une vue d'ensemble de l'environnement. L'Ardal est équipé de plusieurs caméras mais*

« Un robot peut calculer la trajectoire d'un tir en prenant en compte la météo, le vent et la pression atmosphérique »

Viktor Dolgopiatov, directeur de l'entreprise d'armement Burevii

Près de 92 modifications ont été effectuées, depuis 2022, sur l'Ardal (à droite), une sorte de petit char tout-terrain de la taille d'un Caddie de supermarché, produit par l'entreprise Burevii, et dont les sites de production sont tenus secrets (à gauche).

cela ne suffit pas encore pour avoir une bonne vision de ce qui l'entoure. D'autant plus que beaucoup de missions s'effectuent la nuit, sans lumière, pour rester le plus discret possible. »

La mécanique militaire est encore loin d'être autonome, et demande une quantité de personnel non négligeable pour fonctionner. Pour une mission sur un territoire totalement nouveau, l'Ardal peut mobiliser jusqu'à 15 personnes : plusieurs pilotes qui se relaient, des dronistes pour les guider, des cartographes… Les progrès à faire sont encore nombreux. *« Nous avons des retours des militaires sur le terrain toutes les semaines, les modifications que nous apportons à nos machines sont constantes »,* explique Olha Harbovska.

Le Mangal, un engin rapide qui se commande comme un jouet

Au milieu du département des innovations, où il est strictement interdit de prendre des photos, un Minos flambant neuf trône parmi d'autres robots en cours de développement, dont l'existence est classée secret-défense. Cet UGV massif est une version augmentée de l'Ardal, pouvant transporter jusqu'à 1 tonne de matériel. *« La plupart des modifications que nous apportons à nos modèles de base doivent rester secrètes,* insiste un ouvrier, sous contrôle de la chargée de communication, *mais je peux vous donner un exemple. Le sol du Donbass, où nous opérons forcément beaucoup, est composé en grande partie de schistes argileux, de grès et de calcaires. C'est un problème car ces roches sédimentaires très friables s'immiscent partout et détruisent en un instant les chenilles des véhicules. Nous avons dû remédier à ce problème majeur. »* Depuis le début du conflit, de nombreuses entreprises d'armement étrangères, y compris européennes, consultent Burevii afin d'améliorer leurs propres modèles.

De la musique vient interrompre les explications techniques de l'employé. Au fond d'un long couloir, des enceintes crachent un disque de Pink Floyd. Au bout du tunnel, un cariste aux avant-bras tatoués pilote une drôle de petite machine, la faisant zigzaguer entre les tréteaux, les câbles électriques, et les caisses à outils qui traînent à même le sol. L'engin est si rapide qu'on a du mal à le suivre du regard. Il ressemble à une grosse voiture télécommandée sur laquelle on pourrait poser un nouveau-né. Alors qu'il manipule les joysticks de sa télécommande pour faire déraper la voiturette, on peut lire sur le visage du jeune homme le sourire d'un enfant qui s'amuserait à slalomer entre les fauteuils du salon. Une fois chargé de mines antichar ou antipersonnel, ce petit véhicule, baptisé Mangal, a pour but d'infester les sols d'explosifs en territoire ennemi. *« Le Mangal est utilisé pour créer des champs de mines rapidement, sans exposer les soldats »*, résume ainsi le pilote, au cours de sa démonstration qui se fait de plus en plus terrifiante.

Le Ratel-S, véhicule kamikaze chargé de 40 kg d'explosifs

Au début de la guerre, une autre entreprise du cluster Brave1 a mis au point un engin cousin du Mangal : le Ratel-S. Cet UGV made in Ukraine est apparu sur le champ de bataille en 2023. Plus petit et plus rapide, il a été conçu pour foncer et exploser sur sa cible. Une sorte de véhicule kamikaze capable d'atteindre les 24 km/h une fois chargé de 40 kg d'explosifs.

À l'étage d'un des immeubles de la zone désaffectée où se trouve l'usine de fabri-

ROBOT-SOLDAT

L'humanoïde débarque sur le front

Au premier coup d'œil, on pourrait presque confondre le robot avec une silhouette humaine. Il en a les caractéristiques principales : une taille affûtée de 1,75 mètre pour 80 kg, deux bras, deux jambes, et un regard sombre dissimulé derrière une vitre teintée. Mais le Phantom MK-1 est fait de fibres, de composites et d'acier noir. *« Nous pensons qu'il s'agit d'un impératif moral d'envoyer ce robot combattre à la place des soldats »*, a déclaré Mike LeBlanc, cofondateur de la société américaine Foundation qui fabrique l'humanoïde, dans un entretien au magazine *Time*, en mars 2026. Et il semble bien que ce vétéran ayant servi en Irak et en Afghanistan soit sur le point de réussir son pari. Son entreprise a déjà conclu des contrats de recherche d'une valeur de 24 millions de dollars avec l'armée des États-Unis. Pour l'heure, l'humanoïde intéresse surtout pour son potentiel à placer des explosifs sur les portes, et faciliter l'accès aux sites par les troupes en toute sécurité. En février 2026, deux Phantom MK-1 ont été envoyés en Ukraine pour des missions de reconnaissance en première ligne. Mais l'utilisation massive de soldats humanoïdes brouillerait les responsabilités en cas de crime de guerre, déshumanisant encore plus les conflits armés. Le Pentagone considère pour le moment que les systèmes automatisés ne peuvent s'engager au combat sans le feu vert d'un humain. Un principe auquel adhèrent aussi les dirigeants de Foundation. En Ukraine toutefois, la réalité du terrain met déjà au défi cette théorie. Sur certains drones dotés d'IA pour la reconnaissance visuelle et la sélection de cibles, le brouillage russe rend parfois le contrôle à distance défaillant.

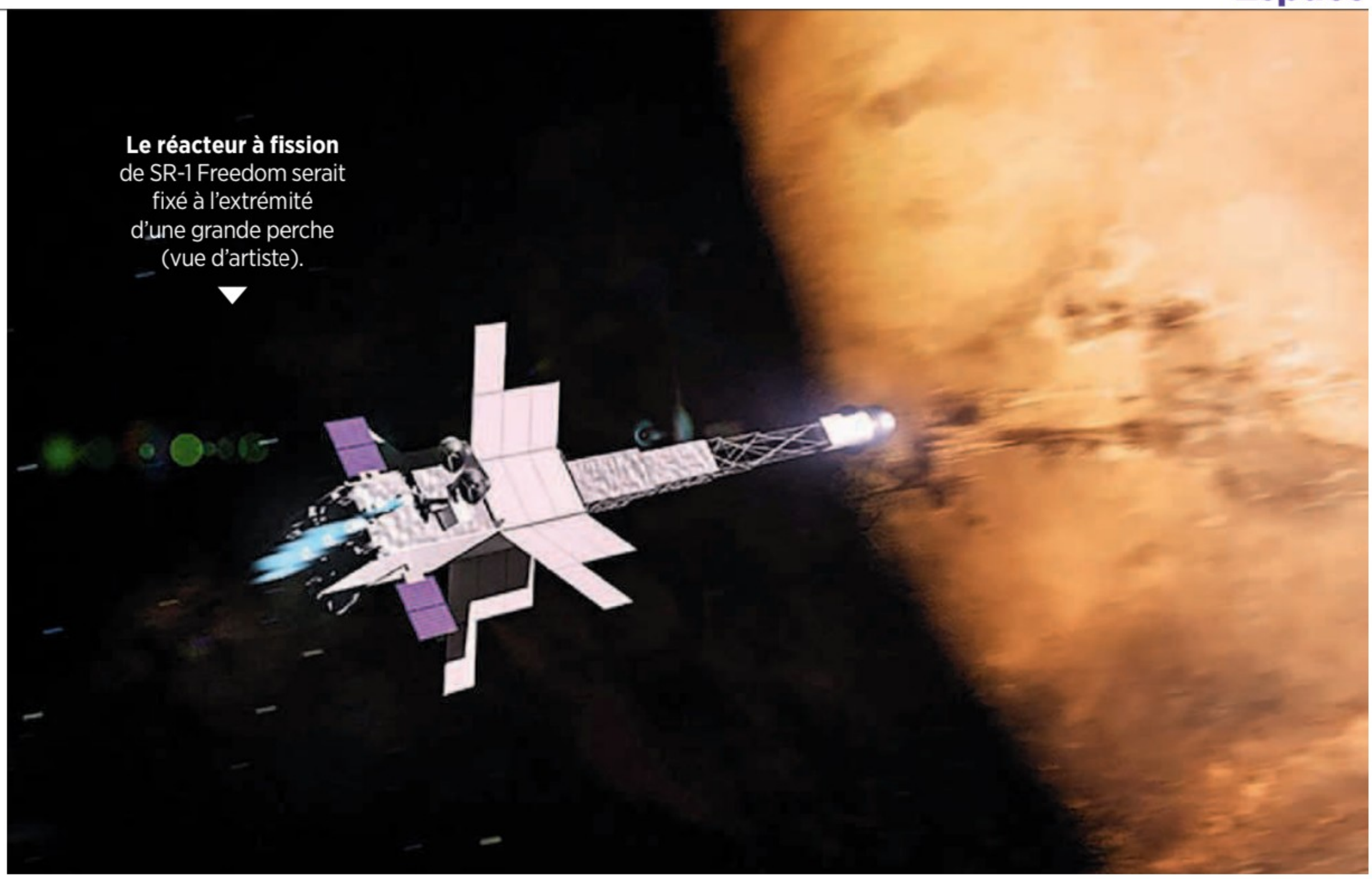
FOUNDATION ROBOTICS

cation, le directeur de Burevii Viktor Dolgopiatov nous reçoit dans un bureau spacieux avec une vue imprenable sur la capitale. Les murs de la pièce sont recouverts de drapeaux ukrainiens, tous dédicacés par des unités d'infanterie ou d'artillerie remerciant Viktor Dolgopiatov pour ses produits qui *« sauvent des vies »*.

22 000 missions accomplies par les robots en trois mois

En avril 2026, Volodymyr Zelensky a annoncé que les robots de combat ukrainiens avaient réalisé plus de 22 000 missions en trois mois, ce qui correspondrait selon lui à *« plus de 22 000 vies sauvées »*. Questionné sur l'ampleur de cette robotisation de l'armée, le directeur de l'entreprise revendique une approche plus mesurée. *« Il est vrai que nous utilisons toutes les nouvelles technologies à notre disposition pour automatiser nos robots, mais ceux-ci doivent opérer strictement sous le contrôle d'opérateurs humains »*, martèle-t-il. Certains outils de pointe permettent, par exemple, d'améliorer la balistique : *« Un robot peut calculer seul, en temps réel, la trajectoire d'un tir, en prenant en compte la météo, le vent, ainsi que la pression atmosphérique au point de départ et au point d'impact prévu,* détaille-t-il. *Mais attention à l'automatisation. Les outils de détection sont améliorés grâce à l'IA, mais si une machine est capable de détecter une cible humaine, elle n'arrive pas encore à distinguer toute seule s'il s'agit d'un Russe, d'un Ukrainien, ou même d'un civil… Supprimer les autorisations de tir pourrait entraîner de véritables désastres. »*

Pour Viktor Dolgopiatov, le champ de bataille ukrainien est encore loin de voir surgir des néo-soldats à forme humaine, capables de remplacer le soldat d'infanterie *(lire l'encadré ci-dessus)*. Même s'il avoue que les demandes venues du front sont chaque jour plus insistantes. Avec l'essor des nouvelles technologies, de moins en moins de soldats sont motivés pour se rendre dans une *kill zone*, où pullulent désormais les machines à tuer. Le soldat d'infanterie ne sera pas totalement remplacé de sitôt, mais des technologies futuristes pourraient cependant faire leur apparition dans les années à venir. *« Une requête récurrente vient des tireurs d'artillerie, qui nous demandent des exosquelettes. Cela les aiderait à porter des charges lourdes, par exemple »*, conclut Viktor Dolgopiatov. ■



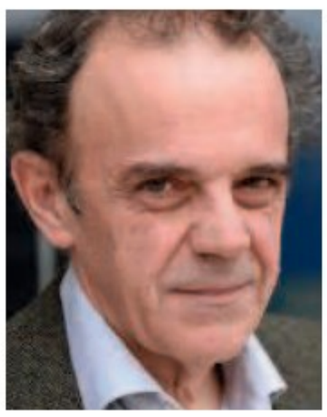
Le réacteur à fission de SR-1 Freedom serait fixé à l'extrémité d'une grande perche (vue d'artiste).

NASA

Le premier vaisseau spatial à propulsion nucléaire

La Nasa se prépare à lancer fin 2028 une sonde propulsée par un réacteur nucléaire. Une technologie de rupture en mesure de raccourcir les futurs trajets vers Mars et d'alimenter les missions lunaires habitées.

« *Après des décennies de recherches et des milliards de dollars investis dans des projets qui n'ont jamais quitté la Terre, l'Amérique va enfin commencer à exploiter l'énergie nucléaire dans l'espace* », a martelé Jared Isaacman, l'administrateur de la Nasa, lors d'une conférence de presse organisée ce printemps à Washington (États-Unis). Selon les précisions apportées par le patron de l'agence spatiale américaine, une sonde baptisée Space Reactor-1 Freedom (SR-1 Freedom) devrait s'envoler en décembre 2028 vers Mars… grâce à un réacteur à fission nucléaire ! Une première dans l'histoire des missions interplanétaires, qui reposent jusqu'ici sur l'énergie chimique et solaire pour expédier des engins à des dizaines de millions de kilomètres de la Terre, jusqu'à la Planète rouge notamment, voire plusieurs milliards de kilomètres pour atteindre les régions les plus reculées du Système solaire. Le vaisseau SR-1 Freedom « *démontrera la validité de la propulsion nucléaire dans l'espace lointain* », promet la Nasa. Une technologie appelée à « *raccourcir la durée des voyages, transporter des charges plus lourdes et alimenter des missions très énergivores au-delà de Jupiter, là où les panneaux solaires deviennent inopérants* ». Le recours à l'énergie nucléaire constituerait effectivement une rupture majeure,


AFP

« On pourrait rejoindre Mars en peut-être trois ou quatre mois contre les sept à onze habituels »

Francis Rocard, responsable des programmes d'exploration du Système solaire au Centre national d'études spatiales (Cnes)

▶ *« celle que les agences spatiales attendent depuis des dizaines d'années,* témoigne Francis Rocard, responsable des programmes d'exploration du Système solaire au Centre national d'études spatiales (Cnes). *Pour concevoir des missions beaucoup plus ambitieuses, il faudra tôt ou tard en passer là. »* Mais dans le spatial, 2028… c'est presque demain ! *« Personne ne s'attendait à une telle annonce »,* reconnaît-il. Et cette échéance, qui correspond à la prochaine fenêtre de tir vers Mars après celle d'octobre 2026, est de fait *« ultracourte ».*

Plusieurs raisons invitent toutefois à un certain optimisme. Car SR-1 bénéficiera d'une riche expérience acquise par les Américains, plusieurs composantes du vaisseau étant déjà construites ou *« quasiment assemblées »,* a révélé Jared Isaacman. L'ambition d'exploiter l'énergie nucléaire dans l'espace n'est pas nouvelle aux États-Unis. Dès le début des années 1960, alors que le programme lunaire Apollo prenait forme, le président John F. Kennedy avait donné son feu vert. *« Cela laisse entrevoir la possibilité, un jour, de disposer d'un moyen pour mener une exploration spatiale encore plus ambitieuse et exaltante — peut-être au-delà de la Lune, peut-être jusqu'aux confins mêmes du Système solaire »,* pressentait-il en 1961.

Deux grandes familles de réacteurs nucléaires étaient alors à l'étude. Qualifiés de « thermiques », les premiers agiraient comme des chaudières ultrapuissantes. Les réactions en chaîne scindant des noyaux d'atomes radioactifs — tels l'uranium 235 ou le plutonium 239 — chaufferaient un gaz comme l'hydrogène à plus de 4000 °C, avant de l'expulser à très grande vitesse pour produire une poussée. Avec une impulsion spécifique (ISP, la grandeur qui mesure l'efficacité d'un moteur) de 900 secondes, cette technologie serait deux à trois fois plus performante que la propulsion chimique brûlant de l'hydrogène et de l'oxygène. *« On pourrait rejoindre Mars en peut-être trois ou quatre mois contre les sept à onze habituels »,* traduit Francis Rocard. Et réduire d'autant l'exposition des équipages aux particules cosmiques et solaires lors de futures missions habitées. Tel était l'objectif du programme Nerva de la Nasa, qui culmina en 1969 avec le test d'un moteur quasiment qualifié pour le vol.

Seconde approche, les réacteurs nucléaires dits « électriques ». Fonctionnant à des températures plus modérées — autour de 1500 °C —, ils produiraient eux aussi de la chaleur, mais convertie cette fois en électricité au moyen de turbines.

NASA

Des drones seront largués par SR-1 Freedom pour cartographier Mars (vue d'artiste).

Cette énergie alimenterait un ou plusieurs moteurs ioniques qui accélèrent puis éjectent un gaz, généralement le xénon. Avec une ISP pouvant atteindre 2000 à 3000 secondes, ces systèmes n'auraient besoin que de quantités très réduites de carburant, allégeant d'autant la masse à emporter dans l'espace. *« Mais cette efficacité a un prix »,* pose Francis Rocard. Car la poussée, bien plus faible qu'avec la propulsion nucléaire thermique, n'imprime pas d'accélération brutale. Elle agit lentement, en continu, jusqu'à atteindre au fil du temps des vitesses considérables. *« La propulsion nucléaire électrique serait ainsi idéale pour acheminer du fret lourd vers Mars ou rallier en un temps record les lointaines Saturne, Uranus ou Neptune »,* illustre-t-il.

Un programme en sommeil pendant 40 ans

Développé dans le cadre du programme Snap de l'US Air Force, ce type de réacteur avait été embarqué en 1965 à bord du satellite expérimental Snap-10A, lancé à 1300 km d'altitude. De la taille d'un gros extincteur, il fournissait 500 watts d'électricité pour alimenter ses systèmes de bord et tester un petit propulseur ionique au césium. Il évacuait sa chaleur non pas avec de l'eau (impossible dans l'espace, où elle s'évapore instantanément) mais grâce à de grandes ailettes radiatives. Resté actif une quarantaine de jours, il est le seul réacteur nucléaire à avoir jamais fonctionné dans l'espace ! Mais en 1964, son prédécesseur Snap-9A avait explosé peu après le décollage, dispersant un kilogramme de plutonium radioactif dans l'atmosphère. Entre les inquiétudes environnementales et les coupes budgétaires qui suivirent la fin d'Apollo, les programmes Nerva et Snap furent abandonnés au milieu des années 1970. *« Une mise en sommeil qui durera près de 40 ans »,* observe Francis Rocard. Jusqu'au retour, dans les années 2010, de grandes ambitions spatiales pour les États-Unis, avec la mise en œuvre du programme Artemis visant à installer une présence humaine durable sur la Lune

NASA

Prototype de réacteur nucléaire Kilopower d'une puissance de 1 kilowatt, destiné aux missions spatiales.

(lire l'encadré ci-dessous) — et préparer, à terme, des vols habités vers Mars. *« Alors que les Américains investissent des dizaines de milliards de dollars dans le programme Artemis, il n'est pas étonnant qu'ils s'intéressent à nouveau à des technologies de rupture comme le nucléaire spatial »,* analyse l'astrophysicien.

En 2015, la Nasa relance ainsi ses recherches avec le projet Kilopower. Objectif : développer de petits réacteurs nucléaires pouvant fournir de 1 à 10 kilowatts d'électricité pour alimenter de futures bases lunaires et martiennes. Puis, en 2021, la Darpa, l'agence de recherche avancée du Pentagone, s'associe à Lockheed Martin pour raviver l'héritage de Nerva dans la propulsion nucléaire thermique. Baptisé Draco, le programme devait tester ses premiers prototypes entre la Terre et la Lune, avant de démontrer que de tels moteurs pourraient ramener à trois ou quatre mois le trajet vers Mars. Malgré ces promesses, l'initiative est abandonnée en 2025. En cause : des coûts trop importants et de lourdes contraintes réglementaires liées aux déchets radioactifs de ces réacteurs.

Limiter les risques de prolifération et d'accident

C'est notamment pour ces raisons que SR-1 Freedom empruntera l'autre voie du nucléaire spatial : la propulsion nucléaire électrique, *« plus simple à mettre en œuvre et ne générant pas de déchets radioactifs »,* souligne Francis Rocard. Dans la continuité de Draco, la mission utilisera de l'uranium faiblement enrichi (moins de 20 %) plutôt que des matières fissiles hautement enrichies utilisées pour Snap et Kilopower, afin de limiter les risques de prolifération et les conséquences d'un accident au lancement. Et, par mesure de sécurité, le réacteur ne sera activé que 48 heures après le décollage, dans une orbite à haute altitude. Il sera maintenu à distance du reste de la sonde pour éviter que la radioactivité perturbe l'électronique, donnant au vaisseau une allure très allongée. À l'autre bout, d'immenses panneaux radiatifs dissiperont la chaleur excédentaire dans le vide de l'espace. Inspiré de Kilopower, le réacteur devrait fournir 20 kilowatts électriques pour alimenter un moteur ionique, le PPE (Power and Propulsion Element), conçu à l'origine pour la station lunaire Gateway. Pour viser un lancement fin 2028, la Nasa s'appuie ainsi sur plusieurs briques technologiques déjà existantes.

Si SR-1 Freedom reste avant tout un *« démonstrateur »,* souligne Francis Rocard, elle transportera vers Mars une précieuse cargaison. Après environ un an de voyage, elle larguera une capsule contenant trois petits hélicoptères, *« très similaires au drone Ingenuity qui réalisa des dizaines de vols dans l'atmosphère ténue de Mars entre 2021 et 2024 »,* détaille l'expert. L'escadrille prendra son envol avant même que la capsule ne touche le sol. Équipés de caméras, de radars et des systèmes de communication, les aéronefs travailleront alors en réseau pour explorer la surface martienne, détecter de la glace d'eau et repérer des sites d'atterrissage pour de futures missions habitées. ■ **Franck Daninos**

BASE HABITÉE

Une minicentrale sur la Lune

L'expérience acquise grâce à la mission SR-1 Freedom sera mise à profit pour construire une centrale nucléaire compacte sur la Lune. Baptisée Lunar Reactor 1, elle produira, elle aussi, de l'électricité à partir de la chaleur dégagée par la fission d'atomes d'uranium faiblement enrichis. Attendue au début des années 2030, cette minicentrale délivrera d'abord 40 kilowatts d'électricité avant de monter en puissance. Son rôle : alimenter la future base habitée du programme Artemis, près du pôle Sud de la Lune. Alors que les nuits s'étirent sur 14 jours et que certaines zones sont plongées dans une obscurité permanente, le réacteur assurera le fonctionnement continu des systèmes de survie, des véhicules et des instruments scientifiques.

Woven City, la ville du futur ultraconnectée

TOYOTA

Au pied du mont Fuji (Japon), sur le site d'une ancienne usine automobile de Toyota, se développe une ville-laboratoire dans laquelle les habitants expérimentent les dernières innovations de mobilité autonome.

Pour que le P-DG du plus grand constructeur mondial de voitures annonce un futur où la voiture individuelle s'efface, il fallait une certaine dose d'audace. C'est pourtant bien ce qu'avait fait Akio Toyoda, le patron de Toyota, en janvier 2020, au Consumer Electronics Show (CES) de Las Vegas (États-Unis), le plus grand rendez-vous annuel dédié aux nouvelles technologies. Sa vision ? La voiture va laisser la place à diverses solutions de mobilité autonome et partagée, avec zéro émission, arpentant des villes connectées. Et pour tester les futures solutions, il a fait appel au célèbre architecte danois Bjarke Ingels. Sa mission : concevoir une ville-laboratoire, où les habitants cohabiteraient avec les ingénieurs afin de leur faire des retours d'expérience en temps et conditions réels.

Cinq ans plus tard, les premiers résidents ont emménagé à Woven City. La ville se trouve au pied du mont Fuji, sur les 70 hectares du site d'une usine Toyota dont l'activité a été délocalisée dans la préfecture de Fukushima, afin de contribuer à redynamiser la région après le séisme du Tohoku en 2011 — et le tsunami qu'il a provoqué. De l'usine, il ne reste aujourd'hui qu'une halle immense, qui abritait notamment les installations d'emboutissage. Renommée « inventor garage », elle est destinée à accueillir start-up, entreprises, instituts de recherche… qui y seront hébergés durant plusieurs mois pour développer et évaluer leurs projets. Les premiers, au nombre de 24, sont en cours d'installation, à l'image de Joby Aviation, qui va tester des taxis aériens électriques à décollage vertical permettant de rejoindre Tokyo en 30 minutes.

Une centaine d'habitants pour l'instant, employés de Toyota

Non loin, un quartier d'habitation est sorti de terre. Il accueille une centaine de résidents, essentiellement des employés de Toyota avec leurs familles — à terme la population devrait atteindre les 2000 personnes. Entre les deux, une piste d'essais va voir le jour. Rassembler pour faire émerger des idées nouvelles, c'est le concept japonais Kakezan — littéralement « multiplication ». *« Ici, les entreprises travaillent avec les universités comme avec Toyota Motor Corporation dans le cadre de partenariats, et les résultats de recherche ont vocation à être publiés »*, assure John Absmeier, directeur technique de Woven.

Dans le quartier bâti, la vie a démarré. Les enfants sont à l'école. Quelques clients travaillent dans un café où l'on étudie l'effet du choix de la boisson sur la concentration, la créativité et la productivité. Ils sont filmés et une IA analyse leurs comportements au dixième de seconde. Quand les données seront suffisantes, l'entreprise UCC Japan espère pouvoir faire des recommandations de boissons chaudes selon le temps dont dispose le client et la façon dont il veut l'occuper (travail, relaxation, etc.). Pour l'heure, en pleine journée, les rues sont quasi désertes. Régulièrement un minibus apparaît. Prévu pour fonctionner de façon autonome, il embarque encore un chauffeur à bord car le règlement exige que celui-ci reprenne la main dès que le véhicule sort du périmètre de Woven City. Nommé e-Palette, c'est un pilier de la vision du futur des mobilités de Toyota, avec un usage loin d'être cantonné au transport de personnes. Entièrement modulaire, il peut être transformé ici en mini-salle de jeux, là en bar, et être acheminé dans un lieu de rassemblement éphémère à tout instant.

◄ Le robot autonome Guide Mobi pilote et guide à distance une voiture. Se déplaçant à 15 km/h, il peut aussi transporter jusqu'à 200 kg de marchandises.

◄ Des simulations de conduite permettent d'étudier les différents moments de concentration humaine au volant.

Sous la route, une autre route, inaccessible aux humains, est dédiée aux robots de livraison. Toute la logistique de la ville se fait de façon autonome pour acheminer courses et colis au pied des immeubles. Dans les appartements, les résidents — appelés « weavers », ou « tisseurs » car ils tissent le quotidien avec les « inventors » — peuvent tester gratuitement les solutions développées à Woven City, en accueillant un robot doté d'une pince capable de ranger la maison, ou en s'équipant d'un filtre anti-pollen censé prévenir toute crise allergique au printemps… En bas de chez eux, ils achètent des boissons dans le distributeur automatique DyDo, piloté uniquement par leurs smartphones. Et pour se déplacer, ils enfourchent une trottinette partagée électrique à trois roues. Bientôt, ils pourront aussi appeler un minirobot autonome en cours de test, capable d'aller chercher seul une voiture dans un garage et de la piloter par wifi à quelques dizaines de centimètres de son capot.

Une IA prévue à terme pour réguler la circulation

Dans cette phase de lancement, il n'y a pas de problème de circulation. Mais les ingénieurs de Woven City préparent la suite en étudiant les comportements des véhicules, des piétons et des petits robots autonomes de livraison. Tous sont filmés par des caméras placées dans des poteaux servant de feux de circulation comme de lampadaires. L'objectif à terme est que des IA puissent analyser les comportements, afin d'agir sur les feux de circulation ou les véhicules autonomes pour prévenir de potentielles situations à risque, à l'arrivée d'un piéton par exemple. Dans cet univers high-tech, les habitants sont appelés à faire des suggestions sur les projets à développer : il leur suffit de les écrire sur… des post-it qui sont affichés dans un espace partagé.

L'avantage d'expérimenter dans cet immense espace privé avec des participants volontaires est de s'affranchir de contraintes réglementaires. À charge ensuite pour les entreprises d'essayer de faire changer les règles et les usages hors de Woven City. Et aussi d'établir un cadre pour l'usage des données personnelles, actuellement centralisées dans une « data fabric » qui orchestre tous les flux d'information de la ville. *« À Woven City, nous sommes en phase avec toutes les réglementations type RGPD, et chaque résident a le contrôle sur les données qu'il accepte de partager. Il est sûr qu'étendre ça auprès de millions de personnes sera un défi »,* conclut John Absmeier. Un défi à la hauteur de celui relevé en 1937 par le grand-père de l'actuel patron, Kiichiro Toyoda, qui avait réorienté l'entreprise familiale de métiers à tisser vers l'automobile. ■ **Mathieu Nowak**

Il s'agira ensuite d'établir un cadre pour l'usage des données personnelles, aujourd'hui centralisées dans une « data fabric » qui orchestre tous les flux d'information de la ville

MEDIA DRUM WORLD/MAXPPP

Créature terrifiante de la culture populaire, le grand requin blanc (ici un spécimen océanique) est pourtant une espèce vulnérable classée sur la liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature. En Méditerranée, il ne resterait plus que 80 individus.

Requin

Le mystère du grand blanc en Méditerranée

Deux rencontres récentes au large des côtes françaises le confirment : le grand requin blanc vit toujours dans la Grande Bleue. Mais derrière ces apparitions spectaculaires se cache la réalité d'une population en danger critique d'extinction. Les chercheurs tentent de la localiser et de l'étudier pour mieux la protéger.

Par Olivier Lascar

Exceptionnel et inoubliable. Ce mois de juin, lors d'une mission menée par des ONG entre la Sicile et la Tunisie, des plongeurs ont filmé à 40 mètres de profondeur un grand requin blanc.

Les premières prises de vue sous-marines de cet animal en Méditerranée ! Les vidéos précédentes avaient toutes été prises depuis la surface, y compris sur les côtes françaises. En novembre 2024, un pêcheur amateur l'avait rencontré au large de Porquerolles, dans le Var. Interrogé par TF1, Henri Cavillon racontait : *« J'ai coupé le moteur (…), le requin m'a vu assez rapidement, il s'est approché de moi tout doucement, très pacifiquement, il a tourné, est passé sous la quille. »* Deux ans plus tôt, le 22 septembre 2022, trois plaisanciers naviguant au large de la Camargue avaient aussi croisé, et filmé, un grand blanc. Le requin est apparu à la surface alors que leur embarcation avançait à vitesse modérée. Lorsque le bateau s'est arrêté, l'animal a tourné autour, environ cinq minutes, à une dizaine de mètres de distance, avant de repartir en direction de la côte.

65 morsures

de requin dites « non provoquées », et notamment dues au grand blanc, étaient recensées dans le monde en 2025. Mais aucune en Méditerranée.

(SOURCE : FLORIDA MUSEUM, 2026)

Les images de ces deux événements permettent d'affirmer sans l'ombre d'un doute qu'il s'agissait bien, à chaque fois, de *Carcharodon carcharias* ; mieux encore, que les observations de Porquerolles et de la Camargue concernent des individus différents. Le second squale est une femelle, le corps marbré de « marques d'amour », des cicatrices dues aux morsures du mâle pendant l'accouplement. Il y a donc des grands requins blancs en Méditerranée ? Lui, le prédateur en chef, le squale à la mauvaise réputation des *Dents de la mer ?* Eh bien oui, ▸

et de longue date. Sa présence dans *Mare nostrum* est connue depuis l'Antiquité. Entre 1600 et aujourd'hui, il y a eu environ *« 800 observations de grands requins blancs en Méditerranée »*, indique Nicolas Ziani, le directeur du Groupe phocéen d'étude des requins (GPER) à Marseille. Cela correspond à toutes les fois où l'animal a été vu vivant dans son milieu naturel, pêché, ou qu'il a laissé une trace sous forme de « trophée ». *« Cette estimation intègre, par exemple, la mâchoire d'une collection privée que nous avons récemment identifiée à Toulon »*, poursuit l'ichtyologue, dont l'équipe scientifique a d'ailleurs lancé un appel à témoin pour collecter dents, photos anciennes, etc. Bref, tout ce qui enrichirait sa base de données des spécimens en Méditerranée. Mais combien y a-t-il de squales de cette espèce effectivement vivants aujourd'hui ? *« Une modélisation de la population des grands blancs en Méditerranée montre un déclin de 90 à 96 % »* depuis la fin du XIXe siècle, reprend-il. Cet effondrement mène à une estimation de moins de 80 *Carcharodon carcharias*. Une goutte d'eau dans la mer. Qui explique que les apparitions du requin blanc le long de nos côtes sont effectivement rarissimes. Ainsi le confirment les professionnels de la pêche, comme l'a constaté *Sciences et Avenir* en interrogeant des prud'homies, ces institutions officielles qui gèrent l'activité en Méditerranée et décident des quotas des pêcheurs. À Martigues, William Tillet, premier prud'homme, témoigne : *« En trente ans de prud'homie, je n'ai pas souvenir de problèmes, de contacts ou de récits concernant le requin blanc — à part dans la presse. »* De son côté, Gérard Carrodano, premier prud'homme de pêche à La Ciotat, confie : *« J'ai 70 ans et, en 40 ans de pêche, je pense avoir identifié seulement deux fois le grand requin blanc. »*

Victime collatérale de la chasse aux thons

L'effondrement du nombre de requins blancs est une conséquence de la surpêche en Méditerranée. De nombreux spécimens ont été des victimes collatérales de la chasse aux thons, trouvant par exemple la mort dans des madragues. Ce dispositif de pêche, très ancien, consiste en de grands filets, fixes ou mobiles, installés en formant des couloirs sur les routes de migrations de ce gibier marin. De quoi canaliser les poissons vers une « chambre de la mort » sans issue. En suivant les thons dont ils se nourrissent, des requins blancs s'y sont retrouvés prisonniers.
D'autres spécimens ont été pêchés par des chalutiers. Au large de l'Hérault, en 1956, l'équipage du *Rosine-Raphaël* a eu la stupéfaction de remonter un *Carcharodon carcharias* de 5,89 mètres de long pour plus de 2 tonnes. Une photo de l'époque montre le squale, suspendu par la queue, devant la boutique du mareyeur Azaïs, à Sète. Son moulage — avec quelques dents d'ori-

CAPTURE

À Trieste, un spécimen bien conservé

Cinq mètres et 40 cm de long ! Ce grand requin blanc, pêché le 29 mai 1906 en mer Adriatique, est exposé au musée d'histoire naturelle de Trieste. La conservation de Carlotta tient du miracle : *« Le requin n'a pas été capturé dans des filets ou avec des crochets,* raconte Nicola Bressi, conservateur au musée. *Il a été abattu en surface à l'arme à feu par Antonio Morin, capitaine de la police maritime austro-hongroise. Son corps est resté presque intact. Surtout, Morin naviguait sur l'un des premiers bateaux à moteur de la région, ce qui a permis de ramener rapidement l'animal au port, avant le début de la décomposition. »*
À l'époque, la chasse aux grands requins blancs était encouragée, avec des primes pour les tuer. Ainsi, le 3 avril 1872, les gouvernements maritimes de Trieste et de Fiume (l'actuelle Rijeka, en Croatie) publièrent un avis prévoyant des récompenses pour la capture et la mise à mort de « poissons-chiens ». Le prédateur était vu comme un concurrent des pêcheurs, car il se nourrissait des thons pris au piège de leurs madragues. En trente-sept ans, les registres historiques révèlent que 30 grands requins blancs furent capturés dans cette zone de l'Adriatique orientale. Carlotta (le même nom que la fille de Morin !) est désormais le symbole d'un monde disparu, une Méditerranée où ces squales étaient bien plus nombreux.

MUSEO CIVICO DI STORIA NATURALE DI TRIESTE

Carlotta, requin blanc femelle de 5,40 m de long, a été capturée le 29 mai 1906.

STUDIO CLÉMENT - FONDS ARCHIVES MUNICIPALES DE SÈTE

Un « Carcharodon carcharias » long de 5,89 m et pesant 2 tonnes, ramené par des pêcheurs locaux et exposé à Sète en 1956.

gine — trône aujourd'hui en majesté au musée cantonal des sciences naturelles de Lausanne, en Suisse. Mais le grand blanc n'a pas été qu'une victime accidentelle. Il fut directement ciblé dans le golfe de Trieste (Italie) et dans la partie orientale de la mer Adriatique *(voir encadré ci-contre)*. Une pêcherie spécifique existait aussi dans le détroit de Messine, entre la Sicile et la péninsule italienne *« au XIXe siècle et au début du XXe siècle, où les navires pêchant l'espadon ciblaient également le grand requin blanc pour sa chair, le capturant à l'aide d'un harpon spécifique »*, écrit dans son livre *Mediterranean great white sharks* (non traduit en français) le biologiste marin Alessandro De Maddalena.

À l'autre extrémité de l'île, le canal de Sicile semble être un lieu de reproduction du squale. Ce bras d'eau qui fait face au golfe de Gabès, en Tunisie, est aussi emprunté par les thons rouges lors de leur migration saisonnière ; il est l'une des zones de la Méditerranée où les opportunités de croiser le grand blanc sont maximisées. Pourtant, même là, les observations sont extraordinairement difficiles. C'est ce qu'illustre une étude de chercheurs américains, italiens et tunisiens, publiée en 2024 dans la revue *Frontiers in Marine Science*.

Une proximité génétique avec les lignées indo-pacifiques

Les scientifiques y relatent leurs tentatives pour observer le grand blanc durant trois expéditions, menées entre 2021 et 2023, dans le canal de Sicile. Ils utilisaient des caméras immergées (des Bruvs, ou « Baited remote underwater video »), opérées à distance et appâtées. Certaines étaient traînées par des bateaux ; d'autres, fixées à des ancres, étaient placées à 10 mètres de profondeur ou près du plancher méditerranéen. *« Pendant le déploiement des Bruvs, nous avons continuellement utilisé des appâts supplémentaires, tels que du sang, de l'huile et des morceaux de poissons (de préférence du thon rouge), pour attirer les individus à proximité du bateau et de la ligne de Bruvs »*, écrivent les chercheurs. À l'arrivée, pas moins de 359 heures de vidéo.

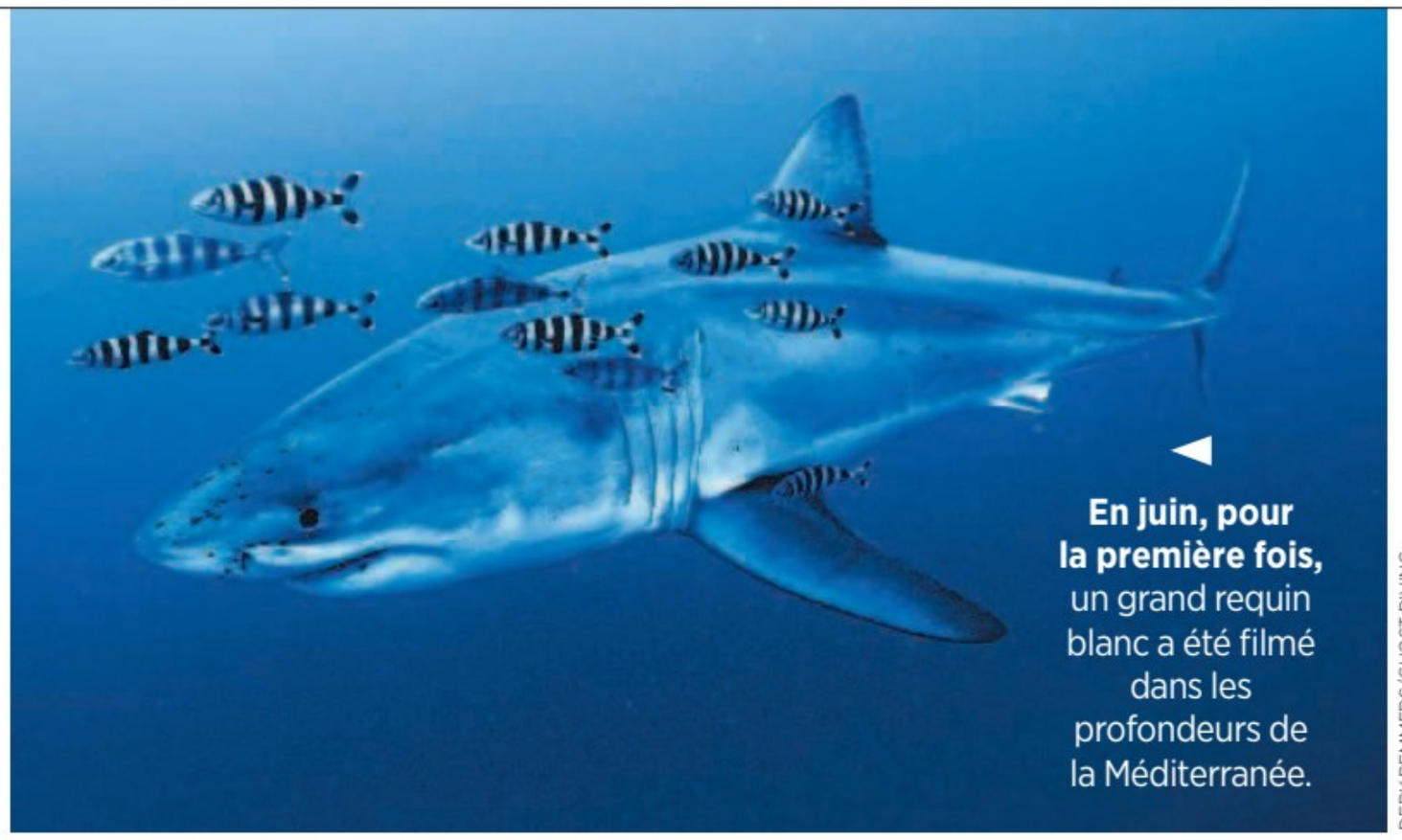
Le verdict ? des tortues, des thons, des cétacés, d'autres requins, mais pas un seul *Carcharodon carcharias*. Il est pourtant bel et bien là, ainsi que le montrent les images sous-marines filmées en ce mois de juin, mais aussi les recherches d'ADN environnemental faites au cours des expéditions : des prélèvements d'eau dont l'analyse permet de révéler les espèces qui ont laissé quelques cellules comme traces de leur passage. *« Nos campagnes suggèrent que la population de requins blancs méditerranéens est probablement plus réduite et fragmentée que ce qui était précédemment envisagé »*, concluent les auteurs.

L'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) l'a d'ailleurs classé comme en danger critique d'extinction en Méditerranée. Le risque est d'autant plus important qu'il s'agit ▶

GPER MARSEILLE

« Une modélisation de la population des grands blancs en Méditerranée montre un déclin de 90 à 96 % »

Nicolas Ziani, directeur du Groupe phocéen d'étude des requins (GPER), à Marseille



En juin, pour la première fois, un grand requin blanc a été filmé dans les profondeurs de la Méditerranée.

DERK REMMERS/GHOST DIVING

d'une espèce vivant isolée des *Carcharodon carcharias* océaniques. Cela a été démontré dès 2010 par une étude génétique publiée dans la revue *Proceedings of the Royal Society B*. Les chercheurs ont séquencé l'ADN mitochondrial — une « région de contrôle » particulièrement stable de génération en génération — de quatre spécimens méditerranéens. Ces données ont été comparées à celles de populations de requins blancs issues de l'Atlantique Nord-Ouest, d'Afrique du Sud et de l'Indo-Pacifique. Le résultat montre une très faible diversité génétique des spécimens méditerranéens. L'étude a aussi réservé une surprise aux chercheurs : les grands blancs de *Mare nostrum* sont génétiquement proches des lignées indo-pacifiques, et nettement distincts de ceux de l'Atlantique, pourtant plus proches géographiquement.

Sur la piste des requins dans l'Atlantique Nord-Est

Ces résultats suggèrent une histoire du grand requin blanc de Méditerranée : son ancêtre pourrait être arrivé des mers australiennes voici plusieurs centaines de milliers d'années, lors d'une période interglaciaire. En cause, l'instabilité climatique du pléistocène moyen (il y a environ 350 000 à 550 000 ans) marquée par de fortes fluctuations de température et du niveau des mers. Ces perturbations majeures ont modifié les courants océaniques, provoquant des erreurs de navigation chez des requins migrateurs. Ces déplacements atypiques auraient conduit des spécimens indo-pacifiques à atteindre la mer Méditerranée, en dehors de l'aire de répartition normale de l'espèce. Résultat : quelques femelles gestantes se seraient trouvées piégées dans la Grande Bleue, où elles ont ensuite donné naissance à leurs petits. Or, cette espèce présente une forte philopatrie maternelle : les mères ont tendance à retourner sur le site de leur propre naissance pour se reproduire. Du coup, la nouvelle population serait restée en Méditerranée. Cela aurait conduit à l'isolement génétique de ce regroupement, désormais qualifié par les chercheurs de « population puits » — sans renouvellement externe significatif. Est-ce à dire que le *Carcharodon carcharias* méditerranéen ne se risque pas à franchir le détroit de Gibraltar ? Dans le cas contraire, ces squales pourraient nager jusque dans les eaux de l'Atlantique Nord-Est, à la chasse aux thons qu'ils suivraient sur leur route de migration. Le programme d'exploration « Save the Med » (comme Méditerranée) a testé cette hypothèse. Il s'agit d'une campagne océanographique menée par l'ONG américaine Ocearch entre juillet, août et septembre 2024 sur plus de 6400 kilomètres dans les eaux atlantiques, à la recherche du grand requin blanc méditerranéen. *« Beaucoup pensent que les requins blancs ne se trouvent pas dans les eaux du nord-est de l'Atlantique, au large de l'Irlande, de la France et de l'Espagne, mais des dizaines de témoignages et récits de pêcheurs disent le contraire »*, commentait avant le départ, dans un communiqué de presse, le fondateur de l'ONG Chris Fischer. Quelques observations sporadiques plaident bel et bien pour que le squale puisse être présent sur la côte atlantique. En 2021, un spécimen d'environ 5 mètres a été vu (et photographié) dans le port de La Corogne, en Galice (Espagne). Par ailleurs, *« le dernier cas avéré en France sur la côte atlantique date de 1977, à La Rochelle. L'animal a été identifié par un scientifique »*, explique Armelle Jung, biologiste à Des requins et des humains, une association internationale pour la conservation des élasmobranches, la sous-classe des poissons cartilagineux à laquelle appartiennent les raies et les

SURVEILLANCE

Dans la réserve marine de Cerbère-Banyuls, des squales scrutés de la côte aux abysses

Sa présence était inattendue. À l'automne dernier, un requin hâ a été détecté dans un canyon du site de Cerbère-Banyuls, grâce à un drone sous-marin autonome lancé par l'équipe de Célia Bertrand, doctorante à l'université de Montpellier. Le projet Emerge, au cœur de la plus ancienne réserve de France, permettra d'apporter les premières connaissances sur la répartition spatiale des raies et requins le long des côtes, et de guider leur conservation locale avant de l'étendre à toute la Méditerranée. ***« Pour la vingtaine d'espèces répertoriées, on a des indices de forte décroissance, mais aucune donnée précise »,*** **souligne l'écologue. Une campagne de marquage par balises acoustiques a débuté sur les raies, mais elle reste plus complexe pour les requins.** ***« D'où le recours à l'ADN environnemental qui renseigne sur leur habitat, les flux migratoires et donc les zones à protéger en priorité. »*** **Premiers résultats fin 2026. Caroline Douteau**

requins. Plus récemment, en 2007, un plongeur en mer d'Iroise (sur les côtes occidentales du Finistère) affirmait avoir vu un grand blanc. Mais n'a-t-il pas pu confondre avec un requin-taupe ou un requin mako, deux espèces présentes dans ces eaux-là ?

C'est dans ce contexte qu'Armelle Jung a accepté l'invitation d'Ocearch à participer à cette campagne d'exploration, avec son collègue Gauthier Schaal, maître de conférences à l'Institut universitaire européen de la mer (université de Bretagne occidentale, à Plouzané). Le binôme a passé quinze jours en mer, le temps de la campagne au large de la Bretagne : *« Nous avons exploré plusieurs zones autour de la pointe bretonne,* décrit Gauthier Schaal. *D'abord la mer d'Iroise, notamment près de l'archipel de Molène et de l'île d'Ouessant. Ensuite, navigation vers l'archipel des Glénan, au sud de Concarneau. En revenant, nous avons couvert la baie de Douarnenez. »*

L'ADN environnemental pour lever le doute

La zone du parc marin d'Iroise, dans l'archipel de Molène, est riche d'une colonie de phoques en expansion depuis quelques années. À l'instar de ce qu'il se passe de l'autre côté de l'Atlantique, il est vraisemblable que si les requins blancs sont au large de la Bretagne, c'est à proximité des phoques, qui font partie de leurs menus. Lesquels incluent aussi les mammifères marins : or, il y a aussi pas mal de dauphins dans cette région, notamment du côté des Glénan. Et, surtout, cette zone correspond à la voie de migration des thons rouges. Eux viennent de Méditerranée. Est-il possible que ce soit aussi le cas des requins blancs qui partiraient à leur chasse ?

Profondeur, nourriture disponible, température… Les eaux bretonnes possèdent les caractéristiques écologiques qui plaident pour la présence du requin blanc. *« Si ce n'est qu'il faut qu'il y ait une population qui puisse les envoyer jusqu'ici : c'est la grande question, les grands blancs de Méditerranée sont-ils suffisamment nombreux pour cela ? »* s'interroge Armelle Jung. Mais au large de l'Espagne, de la France et de l'Irlande, nul spécimen n'a montré la pointe de son aileron. Cela ne signifie pas que le squale n'y est pas. Là encore, l'ADN environnemental permettrait d'en avoir le cœur net. Pendant le temps passé en mer, l'équipe de Save the Med a ainsi traîné des « torpilles », à l'arrière du bateau, qui transportent des systèmes de filtres au travers desquels passe l'eau de mer, ce qui permet de récolter les molécules d'ADN. Ces prélèvements sont désormais à Brest, dans le labo de l'association Des requins et des humains, en attente du financement qui permettra de les séquencer. Les scientifiques ont l'espoir de bientôt le décrocher. Et d'écrire ainsi une autre page de l'histoire du grand blanc le long des côtes françaises. ■

ATTAQUE

La rumeur de Piombino

Le 2 février 1989, au large du golfe de Baratti, en Toscane, Luciano Costanzo a été tué par un grand requin blanc. C'est la dernière attaque mortelle avérée en Méditerranée. *« Luciano Costanzo plongeait pour inspecter une ligne électrique reliant la ville portuaire de Piombino à la Corse, puis à la Sardaigne. Une opération de routine, effectuée de nombreuses fois auparavant »,* raconte le journaliste Stefano Tamburini. Resté sur le bateau, l'ingénieur Paolo Bader a été témoin de l'attaque, survenue en surface : il l'a racontée à Tamburini, dans un entretien publié dans le quotidien régional *Il Tirreno.* Ces circonstances dramatiques ont fait affluer télés, radios et journaux nationaux à Piombino. L'émoi médiatique fut considérable, avec son lot de *fake news :* le corps du plongeur n'ayant pas été retrouvé, *« la rumeur s'est répandue qu'il s'était enfui pour toucher une assurance — qui n'existait pas —, ou qu'il s'agissait de cacher les vraies raisons de sa mort, provoquée en pêchant à l'explosif »,* reprend l'auteur du livre *L'uomo e il mare,* consacré à l'affaire. Pourtant, son équipement de plongée a bien été découvert au fond de la mer trois jours après sa disparition, avec des marques de morsures de requin et des restes de tissus organiques : *« À l'époque, les tests ADN n'étaient pas possibles,* conclut Stefano Tamburini. *Seuls des tests de groupe sanguin ont été réalisés, et ils correspondaient à celui de la victime. »* Et c'est bien l'attaque de requin qui a été retenue par le tribunal de Livourne comme cause officielle du décès de Costanzo.

fatto del giorno 5

LA CACCIA ALLO SQUALO

Il consulente dell'Enel ricorda i terribili attimi durante i quali il portuale piombinese ha tentato di sfuggire alla furia del pescecane «Luciano ha alzato un braccio. Poi è stato preso al torace»

La testimonianza dell'ingegnere che era con Costanzo

«Ha aggredito con ferocia Tre volte in pochi secondi»

Per Bader non ci sono dubbi: era uno squalo bianco

STEFANO TAMBURINI

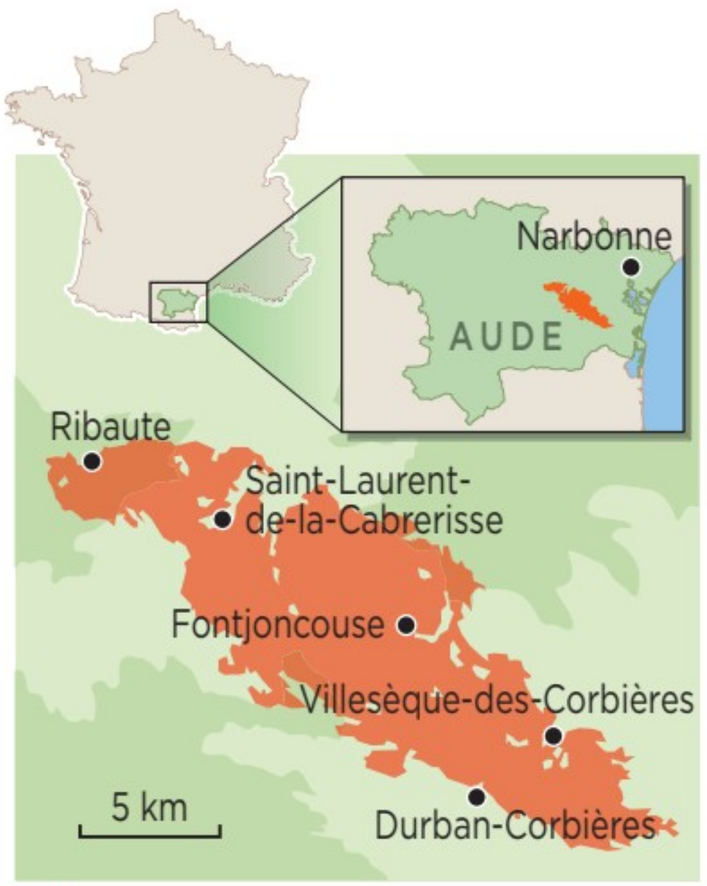
L'entretien avec le témoin du drame dans le journal local « Il Tirreno ».

Dans l'Aude, la science au chevet des forêts incendiées

Il y a un an, des milliers d'hectares partaient en fumée dans le massif des Corbières, lors d'un incendie historique. Depuis, un projet scientifique réunit écologues, naturalistes et institutions publiques pour mesurer l'impact de ces feux et la récupération des milieux naturels.

Elle a du mal à contenir un cri de joie mêlé de regret. Élodie Massol, ingénieure de recherche au CNRS, a entendu le chant d'une fauvette orphée alors qu'elle venait juste d'éteindre son enregistreur acoustique. Dans la garrigue proche du village de Talairan, l'écologue pose une série de capteurs dans le cadre d'une vaste étude bioacoustique. *« Ici, on est dans une zone de contrôle, hors de l'emprise du feu »*, précise-t-elle.

À 2 km seulement, les collines noircies rappellent encore le mégafeu (ou feu convectif) d'août 2025 qui a ravagé le massif des Corbières pendant 23 jours. Le protocole est minutieux : deux sessions d'écoute active de 5 minutes sont réalisées sur place, tandis qu'un enregistreur autonome capte 1 minute de paysage sonore toutes les 14 minutes, jour et nuit. Réglé à 48 kHz, l'appareil enregistre oiseaux, amphibiens, insectes. En août, la fréquence passera à 96 kHz pour capter les espèces émettrices d'ultrasons, comme certaines sauterelles nocturnes.



CONTEXTE

Parti le 5 août 2025 à Ribaute, dans l'Aude, le feu des Corbières est l'incendie le plus important survenu en France depuis celui des Landes, en 1949. L'ONF estime à plus de 11 000 hectares la surface brûlée, sur 17 000 ha parcourus.

Le recensement des oiseaux, des papillons et sauterelles, qui sont de bons indicateurs de la chaîne alimentaire, sera complété par un inventaire herpétologique (des reptiles). *« Car plus un écosystème est diversifié, plus il est résilient et se régénère vite »*, rappelle l'experte des écosystèmes anthropisés.

Une centaine d'enregistreurs similaires sont déployés, depuis fin avril, sur l'ensemble du massif incendié, dans des secteurs où des inventaires naturalistes existaient déjà depuis les années 2000. Les scientifiques ont sélectionné 48 sites répartis selon différents niveaux de sévérité de l'incendie : faible, moyen ou fort. À chaque fois, une zone témoin intacte permet la comparaison. *« On a essayé de limiter les biais avec une seule variable qui change : l'intensité du feu »*, résume Florent Mouillot, chercheur à l'Institut de recherche pour le développement (IRD), spécialiste des incendies méditerranéens au Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive de Montpellier.

CNRS

Un inventaire de terrain est effectué pour évaluer les effets des incendies sur les forêts, au-delà de la seule perte de biomasse.

Un an après la catastrophe, les chercheurs ne veulent pas seulement documenter la reprise du vivant : ils ambitionnent de développer une nouvelle manière d'évaluer la gravité écologique des incendies, bien au-delà du traditionnel décompte en hectares brûlés. Pour mesurer cette sévérité, ils utilisent un indice satellitaire baptisé dNBR, calculé à partir des variations spectrales — observées avant et après l'incendie sur les images des satellites Landsat et Sentinel.

Vers un nouvel indicateur de sévérité écologique

Pour comprendre les retombées écologiques d'un feu, *« la surface brûlée ne veut pas dire grand-chose,* insiste le chercheur. *Ce qui compte, c'est la perte réelle de biomasse et l'impact sur la végétation, un feu de garrigue n'ayant pas les mêmes conséquences qu'un feu de forêt mature. »* À ces données s'ajoutent désormais celles du satellite Gedi, un lidar spatial capable de mesurer (en utilisant des impulsions lumineuses) la structure et la hauteur de la végétation à fine résolution, y compris des arbres morts encore debout. *« On pourra comparer ce qui reverdit, ce qui reste sur pied et ce qui sera coupé par l'ONF ou les propriétaires privés »,* détaille Florent Mouillot. *« On pense souvent que tout brûle, mais c'est faux,* souligne-t-il. *Dans certains cas, moins de 10 % du bois part effectivement en fumée. »* Le reste demeure sur pied, mort ou vivant, puis est exploité ou laissé sur place. Or, aucune donnée n'existe encore sur le devenir de la biomasse et des habitats abritant la biodiversité.

Le chercheur supervise le programme national Qwerty, qui associe le Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive du CNRS, la Station d'écologie terrestre et environnementale de Moulis (Ariège), en partenariat avec les parcs naturels régionaux Corbières-Fenouillèdes et de la Narbonnaise, ainsi que le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, qui développe les outils de télédétection. Son ambition est d'évaluer les différents effets des incendies sur les forêts, au-delà de la seule perte de biomasse. En se concentrant sur la vulnérabilité écologique des milieux naturels, et leur capacité de récupération après le feu, Florent Mouillot et ses collègues espèrent construire une sorte d'*« échelle de Richter écologique »* des incendies, plus nuancée que l'information reposant uniquement sur la surface brûlée. Pour affiner leurs mesures, le Groupe de spectrométrie moléculaire et atmosphérique (CNRS) développe aussi des capteurs embarqués sur drones afin d'analyser directement les émissions de monoxyde et de dioxyde de carbone au-dessus des incendies, ou des brûlages dirigés pratiqués en hiver *(lire l'encadré p. 80).*

FLORENCE AT / DIVERGENCE POUR SCIENCES ET AVENIR

À Talairan, des écologues posent des capteurs sonores pour étudier les zones touchées par l'incendie (en haut et à gauche). À droite, les pépinières départementales de l'Aude accueillent des plants résistants au changement climatique.

L'enjeu est considérable : quantifier les pertes combinées en carbone et en autres valeurs écologiques relatives à la biodiversité et à la conservation des espèces lors de ces mégafeux. *« Ce qui est inédit, c'est l'ampleur de l'étude et sa profondeur historique »,* se félicite Florent Mouillot. Grâce aux archives satellite Landsat (un programme de la Nasa), disponibles depuis les années 1970, son équipe pourra reconstituer cinquante ans d'histoire des feux sur le territoire national. *« Jusqu'à présent, lorsqu'un incendie se déclarait, on ne savait même pas toujours s'il repassait sur une zone déjà brûlée vingt ou trente ans plus tôt. »* Pour Lucas Mazedier, chargé de mission biodiversité au Parc naturel régional Corbières-Fenouillèdes, *« c'est une occasion rare de comparer un état avant et après incendie ».*

Évaluer résilience biologique et stratégies d'adaptation

Les écosystèmes méditerranéens sont des systèmes façonnés par le feu, et de nombreuses espèces végétales repartent extrêmement vite. Pour preuve, trois semaines seulement après l'incendie, les premières repousses de chênes kermès et de pistachiers térébinthes, une flore adaptée aux incendies, étaient visibles au milieu des troncs calcinés. Des espèces pionnières comme les asperges sauvages et aphyllanthes de Montpellier ont également repoussé. Dans les secteurs les moins touchés, genévriers, pins et buissons méditerranéens ont parfois survécu en grand nombre. Côté faune, des espèces ont profité des paysages ouverts créés par le feu. Mathieu Bourgeois, de la Ligue de protection des oiseaux, a constaté *« le retour rapide de l'Alouette lulu et du Pipit rousseline, deux oiseaux caractéristiques des milieux semi-ouverts, ainsi que des reptiles qui adorent les sols nus ».* Une première étude conduite en Occitanie sur les reptiles montre d'ailleurs que la richesse totale en espèces reste comparable après incendie. *« On observe souvent un remplacement d'espèces plutôt qu'un effondrement global de la biodiversité »,* explique Lucas Mazedier. Le spécialiste du parc naturel redoute, avant tout, la répétition des incendies géants. *« À partir du moment où les feux deviennent récurrents, on change de paradigme. On risque une simplification des écosystèmes et une désertification progressive des insectes. »*

Face à cette crainte, la tentation de donner un « coup de pouce » à la nature est grande. La Mugue, propriété départementale située entre Durban-Corbières et Fontjoncouse, et ravagée par l'incendie, sert désormais de laboratoire à ciel ouvert. Sur quelques hectares, des essences inhabituelles pour la région ont été plantées à titre expérimental : le pistachier de l'Atlas, le tétraclinis de l'Atlas, qui repart de la souche après un incendie, le caroubier méditerranéen, mais aussi des chênes originaires du Mexique ou de Californie. *« L'objectif n'est pas de transformer les Corbières en jardin exotique,* assure Olivier Baron, responsable des pépinières départe-

PROPAGATION

L'arrachage des vignes a favorisé le mégafeu

La question est tranchée : l'arrachage des vignes et l'embroussaillement ont permis la propagation de l'incendie de l'été 2025. *« Les vignes en culture traditionnelle, avec un sol nu, forment une barrière quand le feu n'a pas de combustible au sol. La vigne est aussi ininflammable et incombustible »,* explique Jean-Paul Baylac, ex-chef du service Feux de forêt dans l'Aude. Gorgé d'eau, son feuillage freine la propagation, et sa composition chimique est moins sensible à la combustion que celle des végétaux méditerranéens. Avec 5000 ha arrachés en 2025, et 4500 cette année, la situation inquiète l'expert. *« Ces espaces sont devenus des friches franchies par des brandons et des mèches qui atteignent ensuite les maisons. »*

mentales de l'Aude, *mais de tester des espèces susceptibles de résister à la sécheresse de l'air et du sol, ainsi qu'au froid, car le massif se situe à la même latitude que le Canada.* » Le pépiniériste rappelle l'existence de 430 espèces de chênes, dont une dizaine en France, 200 au Mexique, en Grèce et en Californie, *« un véritable réservoir d'arbres résistants qui se heurte encore à l'absence de filière et à des freins réglementaires »*.

Des troupeaux dans les zones sensibles pour débroussailler

Cette stratégie soulève toutefois des interrogations. *« Toute la zone étant classée Natura 2000, introduire de nouvelles essences nécessite beaucoup de précautions »,* estime Lucas Mazedier. Olivier Baron précise que ces réintroductions restent ponctuelles et pourront être déployées dans les villes, ou autour des parcelles cultivées. *« En garrigue, les espèces substitutives n'auront pas la capacité de se développer ; il faudra accepter que 90 % du territoire reste composé d'espèces combustibles »,* constate Jean-Paul Baylac, officier expert des feux au département. Ce que confirme Olivier Baron : *« On ne pourra pas replanter une forêt entière, c'est inimaginable. »* Ces pistes ne doivent pas écarter celles de la multiplication de la génétique locale, propice à la confluence de secteurs méditerranéens de montagnes calcaires et de montagnes acides caractéristiques de l'Aude.

À leur échelle, des habitants misent sur une régénération plus spontanée. À Bizanet, le collectif paysan Beauregard a ainsi lancé, à l'automne 2025 l'opération « Refleurir les Corbières », consistant à semer fleurs et graminées locales sur les terres brûlées pour stabiliser les sols et favoriser le retour des insectes pollinisateurs. Pour l'heure, un an après l'incendie, les paysages noircis reverdissent déjà. Cette résilience visuelle peut d'ailleurs brouiller notre perception de la catastrophe, observent les chercheurs. *« Quand tout redevient vert, le ressenti est beaucoup moins dramatique. Pourtant, derrière cette apparente renaissance, les équilibres écologiques peuvent avoir profondément changé »,* note Florent Mouillot.

C'est précisément ce qu'ils tenteront de mesurer, au cours des prochaines années, dans le massif devenu un terrain d'étude et d'anticipation grandeur nature de l'avenir des forêts méditerranéennes. Car les Corbières cumulent désormais plusieurs fragilités : hausse des températures, sécheresses prolongées chroniques, déprise agricole et recul du pastoralisme. Les zones abandonnées se couvrent progressivement de broussailles très inflammables, ce qui, selon Jean-Paul Baylac, a des conséquences de plus en plus lourdes : *« La dégradation du territoire (déprise agricole, arrachage des vignes) a été un facteur aggravant de l'été dernier, au moins autant que le réchauffement climatique. »* Catherine Luciani, chargée de coordination du plan départemental post-incendie, ajoute que *« le manque de pastoralisme a clairement favorisé l'ampleur de l'incendie »*. Le département expérimente aujourd'hui le retour de troupeaux dans des zones sensibles, pour créer des pare-feu naturels en débroussaillant. Trois propriétés pilotes accueillent déjà des groupements pastoraux et 240 brebis. Et l'Inrae vient de lancer le projet Cedre, destiné à évaluer les services rendus par l'élevage pour la préservation des sols, la biodiversité et la prévention contre l'incendie. Une nouvelle dynamique collective pour échapper, les étés prochains, à un feu aussi intense et destructeur que « l'ogre des Corbières » de 2025. ■

Caroline Douteau

DISPOSITIFS

Les brûlages dirigés sous l'œil des scientifiques

Depuis l'hiver 2025, les écologues du feu du laboratoire Amap (université de Montpellier et CNRS) se greffent sur les opérations de brûlages dirigés des pompiers du Gard, de l'Hérault et des Bouches-du-Rhône. Ces feux consistent à éliminer herbes sèches, broussailles et bois morts avant les périodes de sécheresse afin de limiter les grands feux estivaux. Sur le terrain, les chercheurs utilisent thermomètres, capteurs et drones pour mesurer la température des flammes, leur propagation et leurs effets sur les plantes. *« Toute la végétation présente est relevée avant le brûlage, juste après, puis un an plus tard »,* explique Tristan Charles-Dominique, du laboratoire Amap. Les scientifiques étudient aussi la redistribution d'azote ou de phosphore dans les sols ou les plantes qui repoussent, afin de déterminer le niveau de fertilité des systèmes. *« On veut savoir si la végétation pourra reprendre dans de bonnes conditions. »* Leurs résultats montrent que nombre d'espèces méditerranéennes sont adaptées au feu, et repoussent à partir de la base, telles que le chêne ou les pistachiers. Et que le pin ou le ciste de Montpellier émettent des composés volatils qui déclenchent les feux les plus forts, tandis que les châtaigniers craignent le feu mais ne le propagent pas. Les chercheurs espèrent désormais obtenir des « feux scientifiques » entièrement dédiés à l'expérimentation, sur le modèle de l'Australie ou de l'Afrique du Sud.

DENIS/REA

Des jeunes se rafraîchissent et s'hydratent au bord de la Seine, à Paris. Avec l'augmentation des épisodes de chaleur extrême, boire régulièrement demeure l'un des gestes essentiels pour aider le corps à réguler sa température.

Climat

Comment le corps s'adapte à la chaleur

Que se passe-t-il dans notre organisme quand le mercure grimpe ? Comment notre corps réagit-il et jusqu'où peut-il s'adapter ? Les recherches se multiplient à l'heure où le changement climatique intensifie les canicules et les rend plus fréquentes.

Par Rafaële Brillaud

La porte s'ouvre et libère une grappe de personnes. Visages rouges, tee-shirts trempés de sueur. « *Bon courage !* » lance le groupe aux suivants qui franchissent le seuil. Pendant trente minutes, le camion « Climate Sense » propose de tester la vie par 50 °C à l'ombre. Cette chambre climatique mobile simule des conditions de chaleur extrême que la France n'a pas encore connue, mais qu'elle pourrait découvrir d'ici à 2050. Conçue par Christian Clot, directeur et fondateur du Human Adaptation Institute, à Marseille, l'installation sillonne l'Hexagone depuis 2024 pour sensibiliser au changement climatique. L'expérience, éprouvante, permet de ressentir ce qu'une telle hausse de température fait subir à notre organisme.

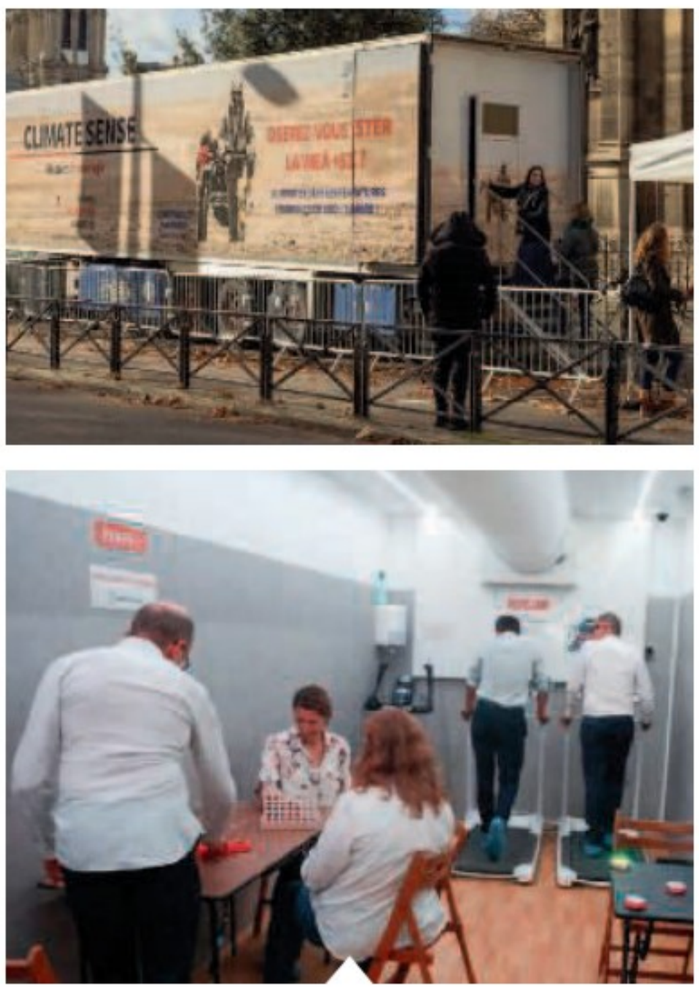
Premiers pas à l'intérieur. L'air est soudain si chaud qu'il est presque palpable. On s'enfonce néanmoins au fond de la pièce, pour dix premières minutes sur un tapis de marche. Très vite, la sueur perle sur le corps. La respiration est plus saccadée. Pour certains, la tête tourne légèrement. À cette température, aller au travail à pied peut s'apparenter à gravir l'Everest. Puis une pause de dix minutes offre l'occasion de toucher différentes matières. Les doigts se brûlent en attrapant des clés ou une montre métallique. Le gosier s'étonne que l'eau de la carafe soit si peu rafraîchissante. Une batterie de tests intellectuels occupe les dix dernières minutes : géométrie, calcul, mémorisation… Les exercices sont à la portée d'un enfant. Rien n'y fait, l'esprit divague et refuse de se concentrer.

Comment notre corps réagit-il et peut-il s'adapter quand le mercure grimpe ? La question est cruciale à l'heure où le changement climatique implique des canicules plus intenses et plus fréquentes. « *Trop* ▸

souvent, les vagues de chaleur sont perçues comme des phénomènes météorologiques exceptionnels qui contrarient le programme de nos vacances. C'est oublier qu'elles sont en train de devenir la norme et ont un réel coût humain. Un été moyen en Europe, c'est maintenant 60 000 décès », alerte Kévin Jean, épidémiologiste à l'École normale supérieure, à Paris.

L'hypothalamus, régulateur des glandes sudoripares

L'être humain est un animal à sang chaud qui régule sa température pour la maintenir constante. *« L'un des paramètres essentiels à notre bien-être, fondamental pour notre survie, est une température corporelle de 36,8 °C, s*ouligne Pieter Vancamp, neurobiologiste et spécialiste de la physiologie humaine, affilié à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae). *Il n'y a pas de marge d'erreur, il suffit de voir l'inconfort que l'on ressent dès que la température corporelle augmente de 1 ou 2 degrés, lorsque notre corps lutte contre un virus ou une bactérie indésirable. »* Même si la fièvre n'est pas dangereuse dans de nombreux cas, elle reste désagréable. La thermorégulation se fait alors par deux principaux mécanismes. Le premier est la transpiration. Des récepteurs dans la peau et les organes communiquent avec l'hypothalamus, à la base du cerveau. *« Ce dernier régule 2 à 5 millions de glandes sudoripares qui sécrètent un liquide riche en sels lorsqu'il fait chaud »*, détaille Pieter Vancamp. Cette fine couche d'eau sur la peau rafraîchit en s'évaporant. *« En cas de chaleur intense ou d'activité physique aux heures les plus chaudes de la journée, on perd facilement un litre de sueur par heure, et jusqu'à 10 litres par jour, soit plus de 10 % de son propre poids pour la majorité des gens ! »*



Le camion « Climate Sense » propose au public d'expérimenter la vie par 50 °C à l'ombre, un scénario envisagé en France à l'horizon 2050.

HAI-SYLVAIN THOLLIER; HAI-CHRISTIAN CLOT

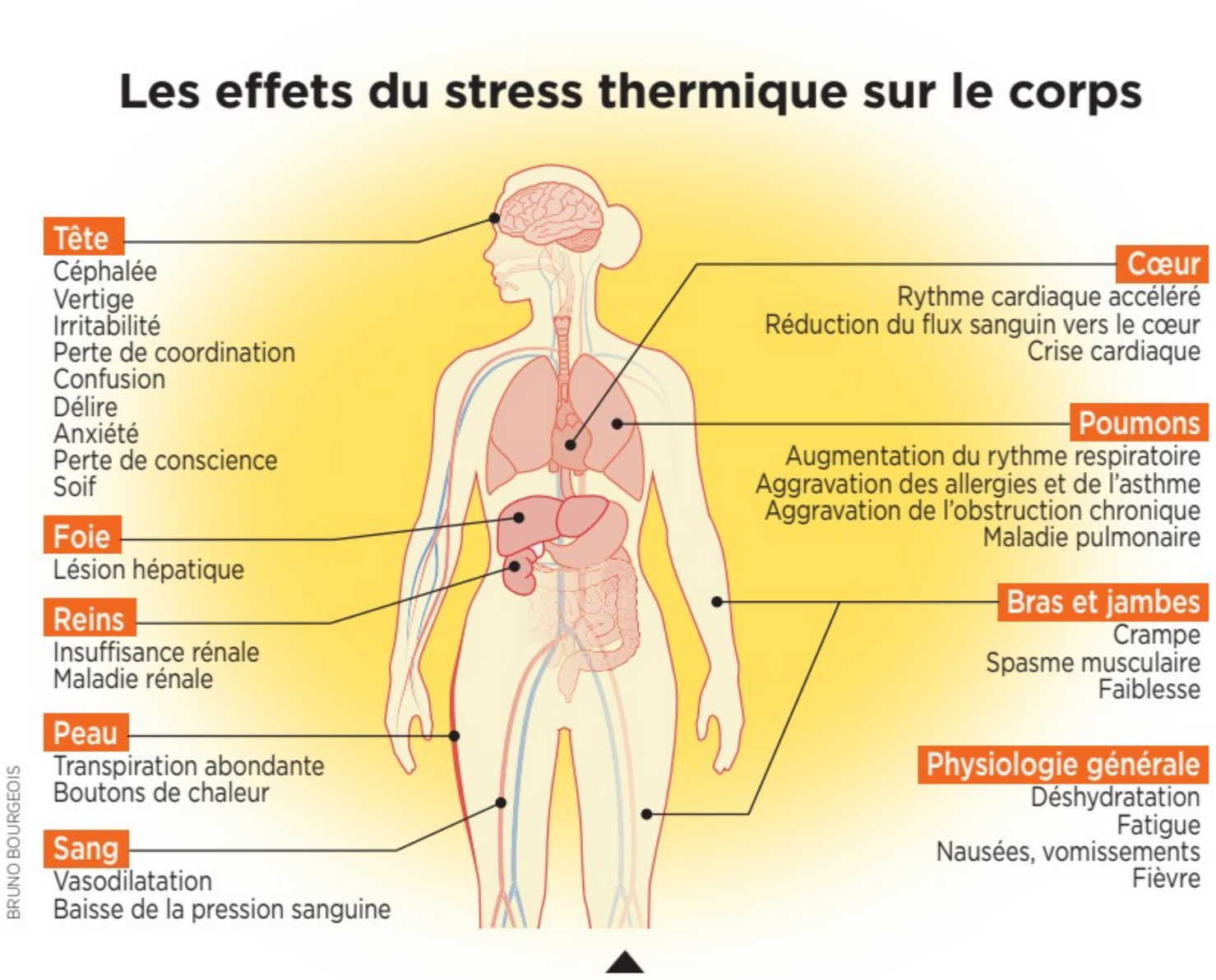
La perte de liquide incite le cœur à intensifier ses efforts, en battant plus vite et plus fort pour maintenir la circulation. Les reins récupèrent l'eau dans l'urine qui devient plus concentrée et plus jaune. Afin d'éviter la déshydratation, il faut se désaltérer régulièrement. Le ministère de la Santé recommande toutefois de ne pas trop boire. Dépasser un apport de 1,5 litre par jour peut provoquer chez les personnes à risque une hyponatrémie, une diminution de la concentration de sel dans le sang.

Le second mécanisme de thermorégulation est la vasodilatation périphérique, qui a la *« fâcheuse tendance à nous donner un teint de tomate bien mûre »*, s'amuse Kévin Jean. Pour épar-

INTERACTIONS SOCIALES

Une hausse des violences conjugales

Plus le mercure grimpe, plus la violence augmente. Des études témoignent de cette corrélation sans que les scientifiques n'en comprennent toujours les mécanismes exacts. Une étude de Jianghao Wang, de l'Académie chinoise des sciences, a examiné 1,2 milliard de publications sur les réseaux sociaux provenant de 157 pays sur une période d'un an. Au-delà de 35 °C, les sentiments exprimés deviennent plus négatifs et ce, davantage dans les pays à faibles revenus (hausse de 25 %) que dans les plus riches (8 %). Vivian Lyons, de l'université de Washington à Seattle (États-Unis), montre en 2022 que près de 8000 fusillades dans 100 villes américaines sont corrélées à des températures supérieures à la moyenne. Yixiang Zhu, de l'université Fudan à Shanghai (Chine), a analysé les données de 195 871 femmes originaires d'Inde, du Pakistan ou du Népal. Il révèle en 2023 qu'une hausse de 1 °C de la température moyenne annuelle est associée à une augmentation des violences conjugales (4,5 %). *« Une étude espagnole suggérait dès 2018 que les féminicides rapportés à Madrid pouvaient augmenter de près de 40 % durant les périodes de vagues de chaleur »,* ajoute l'épidémiologiste Kévin Jean dans son livre *À notre santé. La lutte contre le changement climatique n'est pas celle que vous croyez* (Payot, 2026).



En cas de surchauffe, les mécanismes de régulation (transpiration, vasodilatation) peuvent devenir insuffisants, entraînant déshydratation, fatigue voire atteinte des organes vitaux.

gner les organes, le corps dilate les vaisseaux sanguins près de la surface de la peau et dissipe la chaleur vers l'extérieur. Jusque-là, en dépit de la sueur et des rougeurs, le processus reste normal. Mais si l'état de surchauffe par manque d'eau dure trop longtemps et devient trop extrême, tout s'emballe. Les organes peuvent défaillir les uns après les autres. Le fonctionnement cardiaque se détériore, l'apport d'oxygène au cerveau se réduit, ce qui nuit à nos performances mentales.

La situation s'aggrave quand la chaleur s'accumule dans le corps. *« Quand la température dite "centrale" atteint les 39 °C, c'est l'hyperthermie »*, précise Basile Chaix, directeur de recherche à l'Inserm. Les symptômes sont des rougeurs et des douleurs, de la fièvre, des maux de tête, puis des crampes et des spasmes. Il y a parfois des « syncopes de chaleur », des pertes de connaissances soudaines et brèves. *« Le coup de chaleur survient à partir de 40,6 °C. C'est l'alerte rouge, le décès peut intervenir dans les trente minutes. Cela arrive aux jeux Olympiques car les athlètes sont exposés à une double chaleur, celle de leur environnement et celle de leur organisme en plein effort. »* Les scientifiques n'ont toutefois pas encore une compréhension précise des mécanismes qui conduisent à cette mortalité.

Jusqu'à 10 °C supplémentaires à l'intérieur des logements

Face à une canicule, nous ne sommes pas tous égaux. Les plus vulnérables sont notamment les personnes âgées, les nourrissons, les femmes enceintes, les malades chroniques ou les personnes exposées professionnellement comme les travailleurs du bâtiment et des voiries. *« Il existe aussi clairement des facteurs génétiques,* souligne Guy Lenaers, directeur de recherche au CNRS, responsable de l'unité Mitovasc à l'université d'Angers. *Entre un Inuit, qui vit près du pôle Nord, et un Afar, qui vit en Éthiopie près de l'équateur, il y a une adaptation génétique de la susceptibilité du corps à la chaleur. Et certaines mutations font que l'on peut exprimer une prédisposition à faire des coups de chaleur à l'exercice. »* Le biologiste collabore avec l'armée pour identifier ces marqueurs chez des militaires soumis régulièrement à des climats extrêmes lors de leurs opérations.

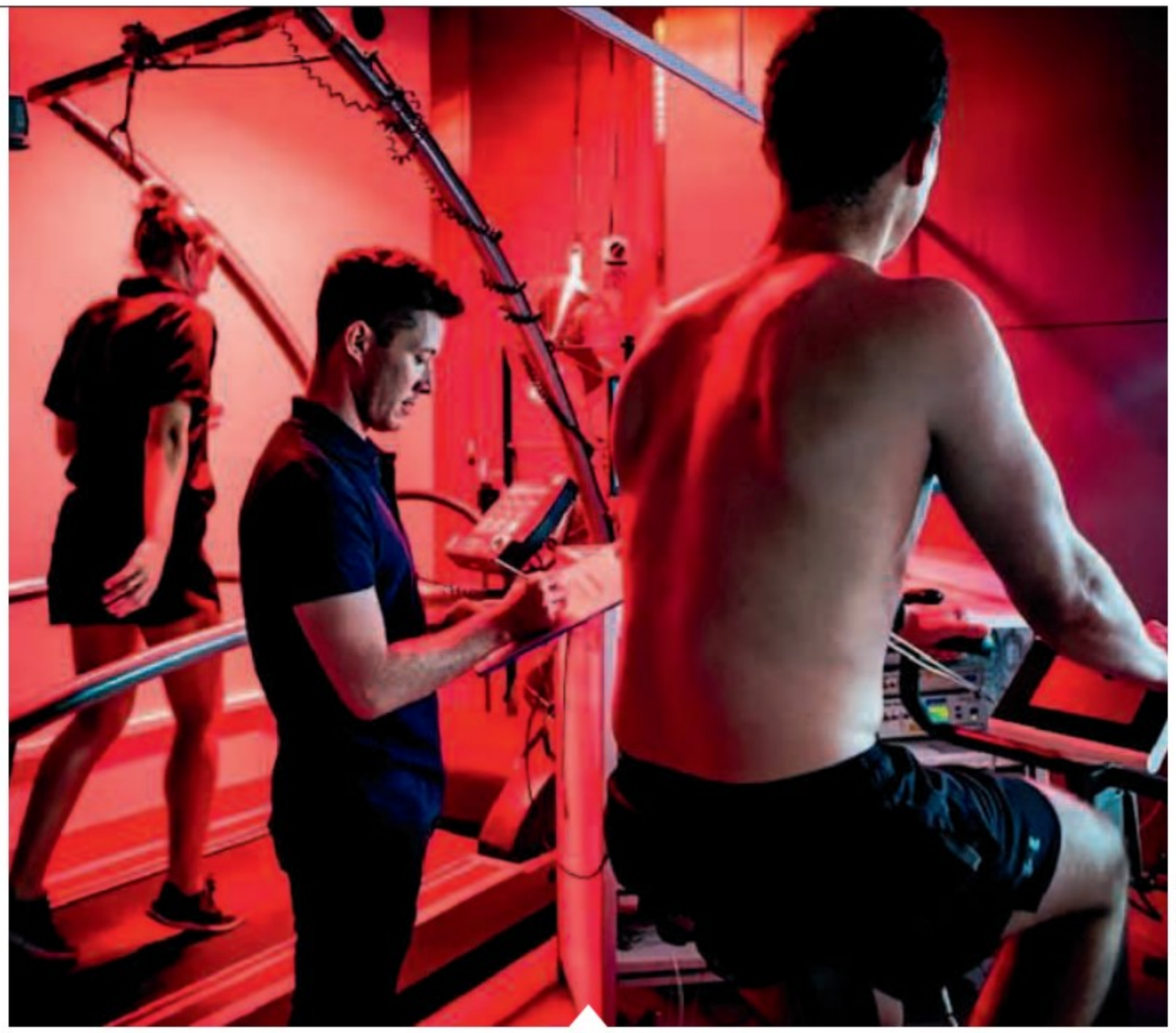
Il ne suffit pas d'avoir les yeux rivés sur le thermomètre pour se prémunir contre les effets de la chaleur. D'autres paramètres entrent en ligne de compte. Basile Chaix pilote une étude, H3 Sensing, pour explorer les mécanismes de vulnérabilité aux hautes températures. La collecte des données a été effectuée en 2025, en suivant 180 personnes à Paris, 4 jours au printemps puis 4 jours durant l'été. *« On va chez eux, on caractérise leur logement, on les équipe d'un sac à dos empli de capteurs et on leur fait passer des questionnaires sur leur profil comportemental, sanitaire, économique. »*

Les résultats ne sont pas attendus avant cet été, mais le directeur de recherche à l'Inserm souligne d'ores et déjà l'importance d'un facteur méconnu : notre logement. *« Au bas mot, 70 % des décès pendant une vague de chaleur surviennent à domicile ou trouvent leur point de départ dans une exposition à la chaleur du domicile. C'est assez contre-intuitif : cet endroit que l'on considère comme notre refuge est à l'origine de la plus grande majoration du risque*

BASILE CHAIX

« Le coup de chaleur survient à partir de 40,6 °C. C'est l'alerte rouge, le décès peut intervenir dans les trente minutes »

Basile Chaix, directeur de recherche à l'Inserm



BRENDAN ESPOSITO

Le laboratoire d'ergonomie thermique de l'université de Sydney reproduit les climats australiens les plus chauds et les plus humides afin d'étudier leurs effets sur les individus.

sanitaire en période de chaleur ! observe le chercheur. *La température à l'intérieur du logement peut être supérieure de 10 degrés à celle de l'extérieur au maximum de la vague. »*

La chaleur humide est la plus dangereuse

Friederike Otto, professeure de science climatique à l'Imperial College de Londres, s'est, elle, appuyée sur l'indice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature ou température au thermomètre-globe mouillé) pour analyser les compétitions mondiales de la Fifa, la fédération internationale de football. Cet indice, souvent utilisé pour les évènements de plein air, prend en compte non seulement la température mais aussi l'humidité, l'ensoleillement ou la couverture nuageuse. Par exemple, 28 °C WBGT équivalent à 38 °C par temps sec ou 30 °C par temps très humide. Quand l'air est saturé d'eau, le corps a en effet du mal à transpirer et donc à réguler sa température. Il surchauffe plus rapidement. Pour la Coupe du monde de football 2026, qui se déroule dans 16 villes du Canada, des États-Unis et du Mexique, Friederike Otto souligne qu'environ cinq matchs devraient se tenir à 28 °C WBGT. Un seuil à partir duquel le syndicat des footballeurs, la Fifpro, considère que la pratique du sport devient dangereuse et recommande un report. *« Sans mesures d'adaptation substantielles telles qu'un accès généralisé à la climatisation et aux infrastructures de refroidissement, l'organisation de matchs de football pendant l'été de l'hémisphère Nord deviendra de plus en plus dangereuse pour les joueurs et les spectateurs dans un climat qui se réchauffe »,* alerte la scientifique. La chaleur humide est donc la plus dangereuse. Mais, sur le terrain, Christian Clot a constaté que la chaleur sèche a le plus fort impact cognitif. De décembre 2022 à juin 2023, il a en effet organisé trois expéditions de 40 jours, avec 20 personnes, dans la forêt équatoriale en Guyane (chaleur humide), les terres glacées au-delà du cercle polaire arctique finlandais, puis le désert aride du Rub al-Khali, en Arabie saoudite (chaleur sèche).

La chaleur sèche, ennemie des fonctions cognitives

Une quarantaine de scientifiques ont étudié comment l'humain s'adapte dans ces milieux représentatifs de nos climats futurs. Un triptyque expérimental inédit dont les résultats n'ont pas encore été publiés. *« C'est lors de la troisième mission que l'ensemble des fonctions cognitives se sont dégradées : l'envie d'avoir une interaction avec les autres, la capacité à faire collectivité et à accepter un leadership »,* pointe l'explorateur. En 2016, il avait testé seul les quatre milieux les plus extrêmes de la planète. *« La chaleur sèche de l'Iran (57 °C) m'avait posé le plus de problèmes. Pendant cinq jours, j'ai lu la première ligne d'un livre sans parvenir à la comprendre. J'ai finalement abandonné l'idée de lire et avancé tel un automate. »* ■

SPORT

Comment les athlètes entraînent leur organisme à affronter le stress thermique

Au cours d'une activité physique, *« 20 à 25 % de l'énergie métabolique est convertie en travail mécanique, le reste est libéré sous forme de chaleur »,* souligne Franck Brocherie, de l'Institut national du sport, de l'expertise et de la performance (Insep), à Paris. Autrement dit, la chaleur peut rapidement s'accumuler et poser problème. Pour atténuer les risques encourus, les athlètes de haut niveau s'entraînent de plus en plus dans des « thermo-rooms », des pièces où la température et l'humidité sont régulées. *« Une exposition répétée à un stress thermique (60 à 90 minutes à 35-40 °C et 40 % d'humidité relative, par exemple) pendant 7 à 14 jours permet à l'organisme de s'acclimater à la chaleur »,* confirme l'expert.

Sophia Boutique, la boutique des lecteurs de SCIENCES ET AVENIR

OFFREZ OU OFFREZ-VOUS

LA MONTRE
LONG ISLAND

- Mouvement à quartz 3 aiguilles (pile fournie)
- Boîtier en alliage de métaux
- Bracelet cuir surpiqué couleur cognac
- Diamètre cadran : 35 mm
- GARANTIE 2 ANS

BON DE COMMANDE

À compléter et à renvoyer avec votre règlement sous enveloppe affranchie à :
SOPHIA BOUTIQUE
45, avenue du Général Leclerc
60643 Chantilly Cedex

	RÉF	QTÉ	PRIX	TOTAL
La Montre LONG ISLAND	V248		39€	€
Frais d'envoi				OFFERTS
TOTAL DE MA COMMANDE				€

ADRESSE DE LIVRAISON

☐ M. ☐ Mme

Nom :

Prénom :

Adresse :

Code Postal

Ville :

Téléphone

E-mail : @

Pour la bonne gestion de votre commande, merci d'indiquer votre email

☐ J'accepte de revoir des offres par email des partenaires de Sophia Boutique.

MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Je règle par chèque à l'ordre de **Sophia Boutique**

☐ Pour un paiement par carte bancaire, rendez-vous sur **www.sophia-boutique.com**

☐ Pour régler par téléphone (paiement sécurisé), merci de contacter le **01 55 56 70 54** en précisant le code **PSCA953**

Les Éditions Croque Futur situées au 41 bis avenue Bosquet, Paris 7e, et qui éditent Sophia Boutique sont responsables de traitement et collectent des données afin de servir votre commande. Vos données pourront être transmises à d'autres organismes (presse, VAD, caritatif) et sont conservées pour une durée de 3 ans à partir de votre commande. Vous pouvez exercer vos droits d'accès, de rectification, de limitation, de portabilité, d'opposition, d'effacement au traitement de vos données et définir vos directives postmortem à l'adresse mail suivante : dpo@sophiaboutique.fr en joignant une copie de votre carte d'identité. Les Éditions Croque Futur disposent d'un délégué à la protection des données pouvant être contacté au 41 bis avenue Bosquet, Paris 7e ou à l'adresse mail dpo@sophiaboutique.fr. À tout moment vous pouvez introduire une réclamation auprès de la CNIL.

PSCA953

Covid long : le cerveau comme nouveau suspect

Pas de biomarqueur clair, mais des symptômes bien réels. Des chercheurs défendent une nouvelle manière de penser le Covid long : l'infection agirait comme un déclencheur avant que certains mécanismes cérébraux ne prennent le relais. Une approche qui suscite de vifs débats.

Les organisateurs le redoutaient depuis plusieurs jours. Leurs craintes ont été confirmées dès les premières minutes de la conférence scientifique consacrée au Covid long, organisée le 23 avril à l'Institut Imagine, à Paris. *« Nous sommes en train de crever. On veut de vrais soins, pas de la méditation »*, ont lancé des patients, militants d'associations. Avant même le début des présentations, plusieurs d'entre eux ont interrompu les échanges en dénonçant des recherches qu'ils accusent de « psychologiser » leur maladie. La tension est encore montée d'un cran lorsque le micro des intervenants a été volontairement coupé, empêchant les personnes connectées, à distance, de suivre une partie des débats.

Entre ces patients et les chercheurs à l'initiative de la conférence, le dialogue semble impossible. *« C'est désolant »*, lâche Brigitte Ranque, professeure de médecine interne à l'université Paris Cité et coorganisatrice de la rencontre. Cette dernière tient à souligner que *« c'est pourtant pour les malades »* qui font face depuis des mois, parfois des années, à une fatigue écrasante, un brouillard cognitif ou des douleurs invalidantes qu'elle travaille sans relâche. D'après les estimations de Santé publique France, 4 % de la population souffrirait de symptômes persistants de Covid-19, au-delà de trois mois après l'infection aiguë.

Des symptômes minimisés ou attribués à l'anxiété

Si cette conférence scientifique a démarré dans un tel climat, c'est parce que de nombreux patients ont vécu des années d'errance médicale, durant lesquelles leurs symptômes ont parfois été minimisés ou attribués à l'anxiété. Une partie d'entre eux estime donc que deux visions irréconciliables du Covid long s'affrontent : d'un côté, une maladie biologique qui nécessiterait des traitements ciblés ; de l'autre, une approche purement psychologique.

Or, les résultats présentés le 23 avril montrent que cette lecture est réductrice. Après quatre ans de travaux, les équipes de chercheurs issus des six pays européens participant au Long Covid EU Project ont toutes martelé que *« les symptômes étaient bien réels »*. Mais *« nous n'avons pas identifié de marqueur biologique spécifique ni de mécanisme physiopathologique permanent »*, a expliqué Helena Liira, médecin à l'hôpital universitaire d'Helsinki (Finlande) et coordinatrice du consortium. C'était pourtant l'hypothèse de départ. *« Et nous avons utilisé toutes les techniques pour comprendre cette maladie,* souligne Giuseppe Balistreri, chercheur à l'université d'Helsinki. *Nous avons mené des études mécanistiques de tous types — virologiques, immunologiques, génomiques, métaboliques, sur le microbiote… »* Les équipes ont aussi cherché

ANTOINE BERLIOZ / HANS LUCAS

Des associations de malades se mobilisent pour attirer l'attention des autorités sanitaires sur l'absence de traitement et de prise en charge efficaces du Covid long (ici devant l'Agence régionale de santé à Toulouse, en mars 2025).

des traces d'infection virale dans le cerveau. « *Nous observons des niveaux extrêmement faibles, autour de 0,001 % des neurones, très loin de ce que l'on voit avec des virus comme Zika* », explique-t-il. Et d'après le consortium européen, les quelques anomalies observées, notamment métaboliques ou immunitaires, n'ont rien de suffisamment spécifique pour faire émerger un biomarqueur clair du Covid long.

Des résultats négatifs qui ne conduisent pas pour autant les chercheurs à considérer les symptômes comme imaginaires. « *Ce n'est pas dans la tête des patients, c'est dans leur cerveau que cela se passe* », résume Cédric Lemogne, psychiatre à l'Hôtel-Dieu et coorganisateur de la conférence. Selon les membres du consortium européen, l'infection agirait comme un déclencheur initial : face au virus, le cerveau active un système de défense normal — fatigue, douleurs, troubles de la concentration, perte d'énergie. Mais chez certains patients, cet état d'alerte persisterait même après la disparition de l'infection, continuant à entretenir les symptômes.

Face au virus, le cerveau active un système de défense normal. Mais chez certains patients, cet état d'alerte persisterait même après la disparition de l'infection, continuant à entretenir les symptômes

Cette hypothèse est notamment alimentée par plusieurs facteurs de risque observés dans les grandes cohortes de patients. Une étude française, publiée en 2023 dans les *Annales médico-psychologiques,* a ainsi montré que des symptômes anxieux ou dépressifs présents au début de la pandémie étaient associés à un risque accru de développer un Covid long. Non pas parce que les symptômes seraient « imaginaires », insistent les chercheurs, mais parce que certains états psychologiques pourraient favoriser le maintien de cet état d'alerte cérébral après l'infection. D'autres indices viennent

MÉDECINE

Des symptômes persistants pas si inédits

Le Covid long n'est pas une exception. La persistance de symptômes physiques malgré la guérison biologique est même quelque chose de fréquent en médecine. La grippe, la mononucléose due au virus Epstein-Barr ou encore le Sras sont également concernés par ce phénomène. Des tableaux proches ont aussi été décrits dans la fibromyalgie, caractérisée par des douleurs diffuses, une fatigue chronique et des troubles cognitifs persistants. Comme les patients souffrant de Covid long aujourd'hui, ceux atteints de fibromyalgie racontent d'ailleurs souvent une même longue errance médicale, le sentiment de ne pas être cru et des symptômes parfois renvoyés, à tort, à de l'anxiété faute de biomarqueur clair. *« Le modèle biomédical est extraordinairement efficace pour certaines maladies, mais pas pour toutes,* déclare le psychiatre et neuroscientifique Cédric Lemogne. *Dans l'opinion publique, les explications biologiques restent perçues comme plus légitimes que les explications psychologiques »,* ajoute-t-il. Alors, certes, les symptômes persistants post-infectieux existaient bien avant le Covid-19… mais il pourrait contribuer à faire sortir de l'ombre des maladies longtemps restées dans un angle mort de la médecine.

nourrir cette hypothèse. Les personnes infectées lors de la première vague, au moment de l'incertitude extrême des débuts de la pandémie, semblent avoir davantage développé de formes prolongées. *« Ce résultat a été reproduit à quatre reprises »*, assure Cédric Lemogne.

L'approche biopsychosociale gagne du terrain

Tous ces éléments *« plaident pour une approche biopsychosociale du Covid long »*, estime le psychiatre. Celle-là même que certains patients récusent totalement. La Haute Autorité de santé préconise d'ailleurs une prise en charge globale, associant traitement des symptômes, soutien psychologique, rééducation personnalisée et accompagnement social. Parce que ne pas connaître les mécanismes d'une maladie n'a jamais empêché de mettre au point des traitements. Une piste consiste à « réentraîner » progressivement le cerveau, afin qu'il cesse d'emprunter ces circuits d'alerte devenus inadaptés après l'infection, comme l'a expliqué Silje Endresen Reme, professeur de psychologie de la santé à l'université d'Oslo (Norvège).

DENIS MEYER/HANS LUCAS

Fatigue et essoufflement des patients sont étudiés grâce à un test d'effort.

En novembre 2024, une revue systématique publiée dans le *BMJ* concluait d'ailleurs que les thérapies cognitivo-comportementales et de réadaptation figuraient parmi les approches les mieux étayées à ce jour pour améliorer les symptômes du Covid long. Mais ces conclusions ont été contestées, comme l'approche biopsychosociale, et pas seulement par des patients. Plusieurs équipes internationales continuent d'explorer des mécanismes biologiques persistants. Fin mai, une équipe de l'université Yale (États-Unis) dirigée notamment par l'immunologiste Akiko Iwasaki, a rapporté dans *Cell* des résultats suggérant qu'une partie des patients pourraient présenter un mécanisme auto-immun.

La piste des mécanismes biologiques toujours explorée

Les chercheurs ont identifié des auto-anticorps ciblant des tissus nerveux et montré que leur transfert à des souris provoquait des symptômes rappelant le Covid long. Pour le spécialiste, ces résultats ne constituent pas une explication unique de la maladie, mais suggèrent qu'une cause biologique pourrait être impliquée. D'autres travaux continuent d'explorer la persistance virale, les anomalies immunitaires ou les troubles vasculaires. Le vaste programme américain Recover poursuit des essais cliniques ciblant spécifiquement la persistance du Sras-CoV-2 dans l'organisme.

Derrière ces controverses, les chercheurs convergent toutefois vers une idée : il n'existerait pas un Covid long, mais plusieurs. Une étude parue en janvier dans *EClinicalMedicine* décrit ainsi plusieurs grands profils de patients : certains dominés par le brouillard cognitif et la fatigue, d'autres par des atteintes respiratoires, cardiovasculaires ou multisystémiques. Six ans après le début de la pandémie, le défi est désormais de comprendre quels mécanismes se cachent derrière cette même étiquette ; et pourquoi le Covid long nécessitera probablement, selon les patients, des stratégies thérapeutiques différentes. ■ **Cécile Coumau**

FLORENCE LEVILLAIN/SIGNATURES

Les moments de jeu et de complicité aideraient les grands-parents à préserver mémoire et santé cognitive en vieillissant.

Les bienfaits d'être grand-parent

S'occuper de ses petits-enfants ne serait pas qu'un plaisir familial, mais également un atout pour mieux vieillir. Des études ont mis en évidence ses effets protecteurs sur la cognition, le corps et le lien social, à condition que la charge ne soit pas écrasante.

On le sait tous, le vieillissement n'est pas tendre et entraîne son lot de problèmes de santé. Heureusement, les seniors disposent d'un atout formidable pour bien vieillir : leurs petits-enfants ! *« Vieillir en bonne santé repose sur trois piliers : une bonne intégration sociale, se sentir utile, et être suffisamment actif aux niveaux cognitifs et physiques. Passer du temps avec ses petits-enfants constitue une activité qui renforce ces trois points »,* rappelle Yvonne Brehmer, professeure à l'université de Tilburg (Pays-Bas), spécialiste des liens entre cognition et vieillissement. En effet, s'occuper de jeunes enfants nécessite une combinaison d'effort physique (car ils courent partout) et cognitif (car ils passent d'une activité à l'autre à une vitesse déconcertante). Sans oublier le rôle émotionnel et social de ce lien, ▶

qui permet aux grands-parents de rester entourés et aimés à des âges où le risque de solitude augmente.
Ce temps partagé avec ses petits-enfants est tellement bénéfique qu'il peut atténuer le déclin cognitif lié au vieillissement. Yvonne Brehmer et son équipe ont analysé cet effet protecteur en Angleterre, grâce à une cohorte permettant de compiler des informations sur le vieillissement de milliers d'Anglais sur plusieurs années. Leur étude, publiée en janvier dans la revue *Psychology and Aging,* montre que les seniors qui s'occupent de leurs petits-enfants — mais qui n'en ont pas la garde entière — ont une meilleure mémoire et une meilleure fluidité verbale. Les personnes qui bénéficiaient le plus de cette protection étaient celles qui pratiquaient une variété d'activités avec leurs petits-enfants, notamment les loisirs et l'aide aux devoirs. *« C'était très surprenant de constater cette différence cognitive entre les grands-parents qui passent du temps avec leurs petits-enfants et ceux qui ne le font pas,* affirme la chercheuse. *Les personnes comparées dans l'étude étaient similaires dans tous les autres aspects : niveau socio-économique, niveau d'études, vivant en couple ou pas, niveau d'activité physique, le nombre d'enfants et petits-enfants, leur âge et celui du petit-enfant le plus jeune…* » Leur seule différence était le fait de passer du temps avec leurs petits-enfants, ce qui semble suffisant pour renforcer la cognition.

TILBURG UNIVERSITY

> « [Il y a une] différence cognitive entre les grands-parents qui passent du temps avec leurs petits-enfants et ceux qui ne le font pas »
> **Yvonne Brehmer,** professeure à l'université de Tilburg, aux Pays-Bas

Le cerveau des grands-mères serait davantage protégé

Ces résultats corroborent ceux d'une étude chinoise, publiée en février 2024 dans *BMC Public Health* par des chercheurs de l'université de médecine chinoise du Hubei, à Wuhan, qui révèle un lien entre une bonne cognition et le statut de grand-parent. Curieusement, l'effet bénéfique protégerait davantage les grands-mères. Chez elles, et seulement chez elles, le déclin cognitif naturel lié au vieillissement était atténué, comparé à celui des grands-mères qui ne passaient pas de temps avec leurs petits-enfants. *« C'est peut-être parce qu'elles font plus d'activités avec les enfants que les grands-pères, en s'impliquant non seulement dans le jeu, mais aussi dans les devoirs et d'autres activités qui sollicitent la cognition »,* détaille Yvonne Brehmer. C'est donc grâce à une plus grande implication que le cerveau des grands-mères serait davantage protégé. Mais attention, cet effet semble s'annuler lorsque l'implication devient trop intense.
Une étude publiée en mars 2024 dans *The Journals of Gerontology* montre que cette protection cognitive n'est plus observée si la charge des grands-mères est trop lourde. *« La garde des petits-enfants est une tâche genrée, les femmes ont tendance à jouer ce rôle de manière plus intense que les hommes, ce qui peut les épuiser si elles n'ont pas le répit nécessaire »,* expose Seung-Won Emily Choi, professeure associée de sociologie à l'université Texas Tech (États-Unis) et autrice de l'étude. Étonnamment, c'est l'effet inverse chez les grands-pères : plus ils s'occupent de leurs petits-enfants, plus ils sont protégés de la démence. *« Je pense que c'est à cause de la nature des activités pratiquées par les grands-pères, ils font davantage d'activités peu stressantes, comme jouer et s'amuser avec l'enfant. Leur rôle est plus agréable et moins inten-*

PSYCHOLOGIE

Une relation également profitable aux petits-enfants

En plus des bienfaits constatés pour les grands-parents, leur proximité avec leurs petits-enfants peut aussi être très positive pour ces derniers. Une étude de l'université Stanford (États-Unis), publiée en octobre 2025 dans *Frontiers in Psychology,* montre qu'il y a une corrélation claire entre le fait d'avoir été proche d'au moins un de ses grands-parents durant l'enfance et le bien-être ressenti une fois adulte. Et cet effet bénéfique était visible même chez ceux qui ont perdu cet être cher avant d'atteindre l'âge adulte. *« Ces résultats mettent en avant l'importance d'avoir des grands-parents bienveillants,* résument les auteurs. *Il est possible que ce soutien durant la période de développement de l'enfant, lorsque celui-ci apprend à réguler ses émotions et à naviguer à travers des situations sociales, soit particulièrement protecteur pour le bien-être émotionnel au début de l'âge adulte. »* C'est donc une relation gagnant-gagnant qui bénéficie à toute la famille, quel que soit l'âge.

DENIS BOURGES/TENDANCE FLOUE

Être un grand-parent impliqué serait bénéfique pour le cerveau, mais seulement lorsque ce rôle s'ajoute à celui des parents, et ne le remplace pas.

sif, donc ils bénéficient davantage du fait de passer plus de temps avec leurs petits-enfants. »

Être un grand-parent impliqué peut donc être protecteur pour le cerveau, mais seulement lorsque leur rôle s'additionne à celui des parents. Au contraire, lorsqu'ils doivent les remplacer et prendre toute la charge des petits, cela peut nuire à leur santé. *« S'occuper de ses petits-enfants est une expérience agréable lorsqu'on le fait occasionnellement, mais si c'est un travail à part entière, le fardeau devient difficile à porter »,* alerte Yvonne Brehmer. Cette surcharge pourrait même accélérer le vieillissement ! Selon une étude présentée par des chercheurs de l'université d'État de Pennsylvanie (États-Unis) lors d'un congrès de la Société américaine de gérontologie, en décembre 2024 (non publiée encore), l'âge biologique des grands-parents avançait plus rapidement pour ceux qui déclaraient s'être occupés de leurs petits-enfants de façon intensive pendant plusieurs années.

Les effets sur la santé varient d'un pays à l'autre

Toutefois, l'intensité de cette charge peut être une donnée très subjective, et il faut savoir s'écouter. *« Pour certains, s'occuper de ses petits-enfants une fois par semaine, c'est déjà trop, et ils ou elles peuvent le percevoir comme un fardeau. C'est très différent si on le fait parce qu'on en a envie ou parce qu'on se sent obligé de le faire »,* ajoute Yvonne Brehmer. Or, cette perception a une dimension culturelle, en fonction de ce que chaque société attend des grands-parents. En conséquence, les effets sur la santé varient d'un pays à un autre. *« Les cultures à travers le monde diffèrent dans leurs attentes sur l'indépendance et l'interdépendance, et donc sur leur vision du rôle des grands-parents »,* précise Abigail Gewirtz, professeure de psychologie à l'université d'État de l'Arizona (États-Unis).

La chercheuse s'est intéressée à ces différences culturelles dans une revue systématique, publiée en juin 2023 dans *The Gerontologist.* Elle y a analysé les résultats de 65 études, issues de 29 pays, montrant qu'une forte implication ne nuit pas forcément. Vivre sous le même toit que leurs petits-enfants aurait un coût pour la santé des grands-parents européens. Au contraire, à Taïwan, cette situation les trouverait plus satisfaits, en meilleure santé et avec moins de dépression. Comme en Corée du Sud et en Chine, mais… seulement pour ceux qui recevaient une aide financière de leurs enfants pour supporter cette charge supplémentaire. De quoi mettre en évidence le poids du stress lié aux difficultés économiques.

Ces différences culturelles sont également visibles au sein d'un même pays. Aux États-Unis, avoir la charge à part entière de ses petits-enfants entraînerait des effets négatifs sur la santé des grands-parents caucasiens. Pour les Afro-Américains, en revanche, il est plus difficile de tirer une conclusion : ils déclaraient une meilleure santé et une meilleure qualité de vie… tout en présentant un risque plus élevé de dépression et de problèmes de santé que ceux n'ayant pas cette charge — mais moins que les grands-parents caucasiens dans la même situation. Quant aux grands-parents latino-américains qui avaient la charge entière de leurs petits-enfants, ils ne présentaient pas, eux, de signes de déclin de santé. Si, selon la science, le rôle de grand-parent peut être bénéfique pour la forme physique et mentale, tout est une question d'équilibre, en fonction de sa culture, de ses attentes et de ses disponibilités. ■ **Nicolas Gutierrez C.**

ANTIOXYDANT Molécule capable de neutraliser les radicaux libres en leur cédant un électron, ce qui les stabilise et les empêche de causer des dommages cellulaires.

RADICAUX LIBRES Molécules instables nécessaires à l'organisme en quantité modérée car elles participent à des voies de signalisation cellulaire, à la régulation de l'expression des gènes et à la défense immunitaire.

STRESS OXYDATIF Déséquilibre entre la quantité de radicaux libres et d'antioxydants, conduisant à des dommages cellulaires (ADN, lipides, protéines) pouvant entraîner des dysfonctionnements.

Pourquoi les antioxydants sont si importants

Essentiels au bon fonctionnement de l'organisme, les antioxydants aident à protéger nos cellules du vieillissement, à condition d'être consommés dans le cadre d'une alimentation variée et équilibrée.

Polyphénols, lycopène, resvératrol… Présents dans les fruits, les légumes, les noix, les graines, les céréales complètes, les légumineuses, mais aussi le chocolat et certaines boissons comme le thé, les **antioxydants** sont réputés bénéfiques pour la santé. Leur consommation préviendrait le vieillissement prématuré de nos tissus, ainsi que diverses pathologies (maladies cardiovasculaires et neurodégénératives, diabète de type 2, etc.).

On les trouve sous la forme de pigments végétaux…

Produits par les plantes notamment pour se défendre contre les agresseurs (UV, agents pathogènes…) et attirer les pollinisateurs, les pigments sont présents dans presque tous les végétaux (fruits, légumes, algues, graines…) et, pour la plupart, leur confèrent leur couleur. Ces pigments antioxydants se répartissent en grandes familles dont les caroténoïdes (bêta-carotène, lutéine, zéaxanthine, lycopène), de couleur jaune à rouge, et les polyphénols. Ces derniers se composent principalement de flavonoïdes (proanthocyanidines, anthocyanes, flavonols…), de couleur jaune à violet ; de tanins hydrolysables (ellagitanins, gallotanins) ; de lignanes et de stilbénoïdes (resvératrol) (1).

15 à 25 mmol/100 g

Le cassis fait partie des fruits les plus riches en antioxydants, selon l'indice Frap.

(SOURCE : UNIVERSITÉ D'OSLO, 2010)

… mais aussi de vitamines et de minéraux

Parmi les antioxydants figurent les vitamines E (amandes, huile de colza…) et C (agrumes, kiwi, poivron), le sélénium (pain complet, poisson, fruits de mer…) et le zinc (huîtres, légumes secs…). On compte aussi des composés soufrés comme les glucosinolates (choux) et l'alliine (ail, oignon) ; des alcaloïdes (caféine, théobromine du cacao) ; le coenzyme Q10, présent dans la viande, les poissons gras et les huiles végétales, ou encore certains acides aminés telles la L-glutamine et la L-cystéine (cette dernière participant à la synthèse du glutathion, un antioxydant endogène très puissant) (2).

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

Un rempart contre les radicaux libres…

Les cellules de l'organisme utilisent l'oxygène pour produire de l'énergie sous forme d'ATP, mais ce processus crée des **radicaux libres**. Ces derniers sont aussi fabriqués dans l'organisme lors de réactions enzymatiques impliquées dans le métabolisme des médicaments ou la défense immunitaire, ou en cas d'exposition à divers facteurs environnementaux (tabac, pollution, radiations, etc.). Mais, produits en excès, ils peuvent réagir avec les acides gras des membranes cellulaires, l'ADN et les protéines (3) et ainsi endommager les tissus. Or, les antioxydants endogènes (comme le glutathion) et ceux apportés par l'alimentation sont capables de neutraliser ces molécules instables et contribuent ainsi à lutter contre le **stress oxydatif**.

… à condition de ne pas en consommer en excès

À forte concentration, les antioxydants alimentaires peuvent eux-mêmes favoriser l'oxydation en générant des molécules réactives. Un apport élevé en polyphénols peut ainsi favoriser la formation de quinones, des molécules toxiques qui contribuent au stress oxydatif. Une alimentation variée permet de maintenir un bon équilibre (dit redox) mais la consommation de compléments alimentaires peut poser problème. En cas de grossesse, l'excès de vitamine A est associé à des malformations du fœtus. En surplus aussi, la vitamine E met au repos le système immunitaire, l'inverse de l'effet escompté. En outre, la supplémentation en bêta-carotène chez le fumeur augmente le risque de cancer du poumon (4).

Diversifier les sources

Les antioxydants alimentaires auraient de nombreux effets bénéfiques sur la santé. Les polyphénols alimentaires agiraient ainsi sur l'inflammation et la fonction vasculaire (5). Selon une large étude menée sur 120 000 individus, un apport quotidien d'environ 500 mg de flavonoïdes (soit deux tasses de thé) serait associé à une réduction de 16 % du risque de mortalité toutes causes confondues, ainsi qu'à une diminution d'environ 10 % du risque de maladies cardiovasculaires et de diabète de type 2 (6). Pour autant, il semble que ce soit davantage la diversité des antioxydants qui soit bénéfique pour la santé, que l'effet spécifique de tel ou tel antioxydant isolé. ■

Sylvie Boistard

STÉPHANE QUIDEAU Chimiste spécialiste des polyphénols, professeur à l'université de Bordeaux (33)

Les polyphénols interagissent avec le microbiote intestinal

« Consommer des fruits et légumes riches en antioxydants est bénéfique pour la santé. Mais nous sommes loin d'en connaître toutes les raisons. Il semble probable que les antioxydants agissent en synergie avec d'autres composés alimentaires (fibres, lipides, sucres, vitamines, etc.), ce qui aurait un effet positif sur leur absorption et leurs potentiels effets protecteurs. L'une des autres hypothèses, aujourd'hui étudiée, est une possible interaction avec le microbiote intestinal. Les bactéries dégraderaient les polyphénols notamment, et s'en serviraient pour leur croissance ou leur système de défense, ce qui, indirectement, serait bénéfique pour la santé. »

(1) Plant Polyphenols: Chemical Properties, Biological Activities, and Synthesis, Quideau S. et al., *Angewandte Chemie International Edition,* 2011.

(2) Antioxidant nutrients and hemolysis in sickle cell disease, Delesderrier E. et al., *Clinica Chimica Acta,* 2020.

(3) Free radical tissue damage : protective role of antioxidant nutrients, Machlin L.J. et al., *Faseb Journal*, 1987.

(4) Vitamine A et caroténoïdes provitaminiques, *Anses,* 2012.

(5) Dietary Polyphenols: Review on Chemistry/Sources, Bioavailability/ Metabolism, Antioxidant Effects, and Their Role in Disease Management, Rudrapal M. et al, *Antioxidants*, 2024.

(6) High diversity of dietary flavonoid intake is associated with a lower risk of all-cause mortality and major chronic diseases, Parmenter B. et al., *Nature Food*, 2025.

PROJET "BRUITS DE COULOIR" PARCO ARCHEOLOGICO DI POMPEI

Les graffitis antiques (272 au total, dont 79 inédits) inscrits sur les murs du « couloir des théâtres » de la cité ensevelie ont été photographiés de nuit grâce à la technologie RTI. Un corpus exceptionnel de messages d'un autre temps.

Pompéi
Les révélations des bruits de couloir

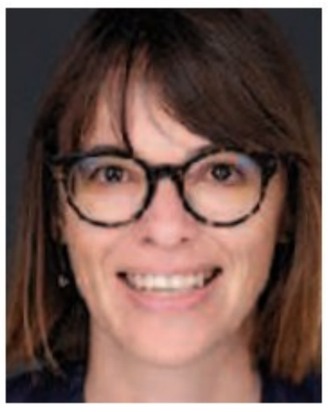
Si la cité romaine est largement connue depuis l'éruption qui l'a figée dans le temps, ce sont désormais ses habitants qui se révèlent, avec le projet « Bruits de couloir » mené par Sorbonne Université et l'université du Québec à Montréal. Les centaines d'inscriptions laissées dans une ruelle, dont des dizaines inédites, leur donnent la parole.

Par Victoire Constantin

C'est un couloir coincé entre les deux théâtres auxquels il donne accès. Un simple couloir de 27 mètres de long, jadis couvert et fermé de deux portes à ses extrémités. En tout, 54 mètres linéaires à explorer, si l'on considère qu'il est bordé de deux murs à l'enduit fatigué — rouge dans leur moitié inférieure, couleur crème au-dessus, avec une bande jaune et un fin trait noir au centre. Dans une ville comme Pompéi, connue pour ses thermes, ses temples et ses villas aux fresques et mosaïques chatoyantes, l'ensemble se fait plutôt discret… Les différentes générations d'archéologues qui ont arpenté la cité campanienne lui ont porté un intérêt mesuré. D'où la surprise quand une petite équipe a commencé à s'y pencher, il y a cinq ans. *« Pourquoi s'intéresser à cet endroit dont on ne parle jamais, plutôt obscur dans tous les sens du terme ? En fait, à l'origine, notre projet de recherche se focalisait plutôt sur les théâtres attenants comme espaces de rencontre entre les différentes catégories de la population… »* admet volontiers Éloïse Letellier-Taillefer, archéologue à Sorbonne Université. Mais, à mesure qu'elle plongeait dans son sujet, l'équipe — également composée de Louis Autin, spécialiste de langue et littérature latine à Sorbonne Université, et Marie-Adeline Le Guennec, historienne à l'université du Québec à Montréal (Canada) — a compris que le modeste passage était un diamant brut : un lieu public précieux, témoin unique et jusque-là passé sous les radars. Avec 272 graffitis, écrits et dessinés, ses murs décrépits recèlent en effet une concentration scripturale sans guère d'équivalents dans une cité qui en compte des milliers, sauf dans la Grande Palestre et dans la basilique. Côté style, l'ensemble se rapproche plus de ▸

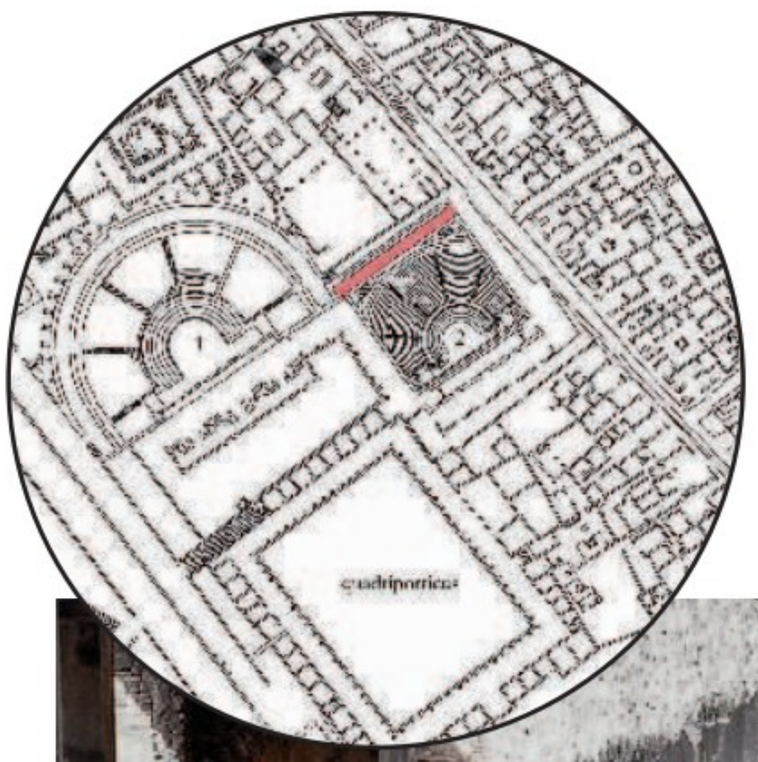
la gouaille qui agrémente les murs des auberges que des œuvres de Pline l'Ancien… Une chance pour Louis Autin, qui y voit un contrepoint plus spontané, modeste et populaire aux traditionnelles sources littéraires émanant des classes supérieures. *« D'où l'importance de les interroger au maximum !* s'enthousiasme Marie-Adeline Le Guennec. *Nous tentons ici d'étudier directement qui "parle" et ce qui se dit.* » Et, ainsi, d'ouvrir une fenêtre sur le quotidien du lieu, entre 70 avant notre ère, date de sa construction et de celle du petit théâtre pendant la phase de la romanisation de la cité, et 79 de notre ère, quand l'éruption du Vésuve scella le destin de la région.

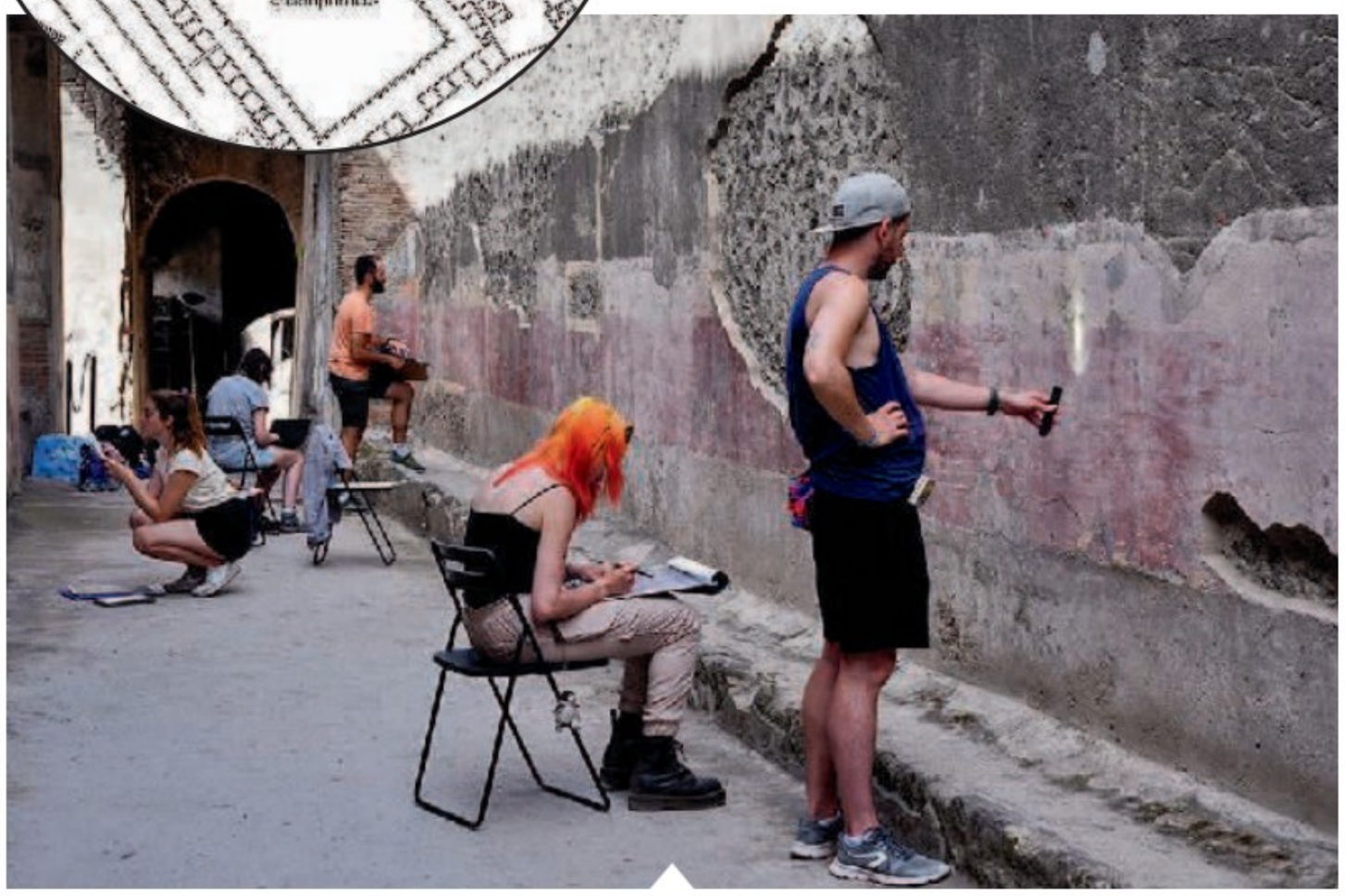
Le terrain de jeu n'était toutefois pas totalement vierge. Le passage a été découvert en 1794, au début des fouilles, et ses inscriptions sont mentionnées au moins dès 1810. *« Les premières études des graffitis textuels sont publiées au milieu du siècle, et courant XX^e^ pour les dessins figuratifs,* rappelle Marie-Adeline Le Guennec. *Or, nous avons pu en déceler 79 inédits !* » Soit 33 écrits et 46 dessins jamais publiés. *« Ce nombre nous a étonnés,* souligne Éloïse Letellier-Taillefer. *Les rapports des premières fouilles des théâtres au XVIII^e^ siècle sont très précis mais ils ne les ont jamais mentionnés… Soit parce qu'ils n'étaient pas visibles, avec le couloir encore imparfaitement dégagé, soit à cause de leur contenu ! Les injures ou mentions à caractère sexuel pouvaient être jugées choquantes, non pertinentes, etc.* »


UQAM

« Ces graffitis bigarrés prouvent qu'il y avait tout un pan de culture partagé entre les élites et les autres populations »

Marie-Adeline Le Guennec, historienne à l'université du Québec à Montréal (Canada)




PROJET "BRUITS DE COULOIR" - PARCO ARCHEOLOGICO DI POMPEI

Mur nord du couloir de 27 mètres de long qui reliait les théâtres 1 et 2 de Pompéi (ligne orange, en médaillon), étudié par les chercheurs du projet « Bruits de couloir ».

Deux campagnes menées *in situ* (*lire l'encadré p. 100*) comblent ces lacunes. Une première a commencé l'exploration des murs du couloir, entre mai et juin 2022. L'idée était alors « juste » de poser un autre regard sur les inscriptions, en prenant en compte leur spatialisation : alors qu'elles sont toujours publiées indépendamment les unes des autres, classées par thèmes ou par motifs, *« nous avons voulu partir du lieu, et replacer ces graffitis les uns par rapport aux autres* », pointe Éloïse Letellier-Taillefer. Une approche originale pour comprendre leurs liens et interactions, leur accumulation dans le temps et l'espace, comment ils se répondent, se complètent, se comparent…

Une grande diversité de tailles, de sujets et de langages

Pour ce faire, épigraphistes, archéologues, philologues, etc. ont procédé selon les méthodes classiques de leur discipline, multipliant les estampages, calques et observations nez collé au mur et lampe de poche à la main, pour faire ressortir les fantomatiques tracés d'à peine un millimètre de profondeur, et altérés par l'usure. *« Ce sont ces relevés qui nous ont permis de découvrir les éléments inédits, comme un graffiti de gladiateurs,* sourit l'archéologue. *Ça a été un moment incroyable lorsque l'on a compris que l'on voyait s'esquisser une jambe, puis deux… qui n'apparaissaient dans aucun catalogue !* » (*Lire l'encadré ci-contre.*)

Puis, en 2025, l'équipe a eu l'opportunité de revenir avec la société française Mercurio Imaging, spécialiste de la RTI (reflectance transformation imaging) :

DÉCOUVERTE

Deux gladiateurs en invités surprise

Depuis 2000 ans ils sont là, debout, figés en pleine action. Gravés au milieu du mur sud, les deux gladiateurs hauts d'une dizaine de centimètres font partie des surprises du projet « Bruits de couloir ». D'abord parce que cette représentation quasi invisible à l'œil nu était inconnue jusqu'à présent, mais également parce que les combattants n'ont rien à faire là : nous sommes à deux pas de l'escalier d'accès au petit théâtre où régnaient les acteurs, donc bien loin de l'amphithéâtre (situé tout à l'est de la cité) où se tenaient les combats.

Sa présence rappelle l'importance de la gladiature dans la société romaine — dont témoignent nombre d'autres graffitis dans la ville. Elle révèle aussi l'habileté de son auteur. Certes, le trait peut paraître simple… mais le mouvement est magnifiquement rendu, avec le personnage de gauche qui se tient jambe droite en avant, derrière son large bouclier rectangulaire et épée courte dans sa main droite prête à frapper. Face à lui, son adversaire (moins préservé) lui oppose son propre bouclier. Leur équipement se reconnaît parfaitement, du casque rond à large bord et plumet aux cnémides protégeant les tibias. Soit le vestige d'un souvenir fort, gravé pour l'éternité.

PROJET "BRUITS DE COULOIR"-PARCO ARCHEOLOGICO DI POMPEI

Quasi invisible à l'œil nu, le dessin des deux combattants a été retracé (à droite).

une technique de numérisation entièrement repensée et adaptée aux besoins du chantier. Les données obtenues seront précieuses pour affiner la compréhension du moindre tracé, mais, déjà, *« leur modélisation a permis de créer une copie complète du couloir qui pourra être partagée avec nos collègues,* ajoute Marie-Adeline Le Guennec. *Elle est en cours de finalisation et sera bientôt disponible en ligne. Ça n'a pas été évident de trouver la bonne façon de montrer un double document de 27 mètres de long ! »*

Des résultats ardemment attendus… *« Le couloir est un espace crucial pour les graffitis,* appuie l'épigraphiste Kyle Helms. *Que l'équipe de "Bruits de couloir" ait pu les documenter avec précision est essentiel pour préserver la mémoire de ces textes uniques. »*

Une première publication, fin janvier, lève une partie du voile. Paradoxalement, les spectacles des théâtres sont peu évoqués par les graffitis. Les inscriptions montrent une grande diversité en matière de tailles, de sujets traités et de maîtrise de la langue : *« Noms de personnes pouvant être associés à des caricatures, déclarations d'amour ou insultes en lien avec la vie publique où sont mentionnés des consuls siégeant à Rome, messages à caractère sexuel, mais aussi dessins de gladiateurs, de bateaux, d'animaux surtout quadrupèdes comme des chiens ou des chevaux, jeux graphiques… »* liste l'historienne. *« Et on note de nombreux jeux très créatifs de subversion des codes des élites !* s'amuse Éloïse Letellier-Taillefer. *Une date associée à un message salace, une typographie ou un style habituellement utilisé pour les inscriptions électorales pour une déclaration d'amour, etc. »* Ainsi de cette inscription parodiant le style officiel des juristes pour annoncer les relations tarifées entre la travailleuse du sexe Tyché et trois hommes… Cela traduit un usage répandu de l'écrit. Toutes les catégories sociales laissaient ici une trace de leur passage, ne serait-ce que par une simple incision.

Si la grande majorité des écrits sont en latin, quelques-uns sont en grec ▸

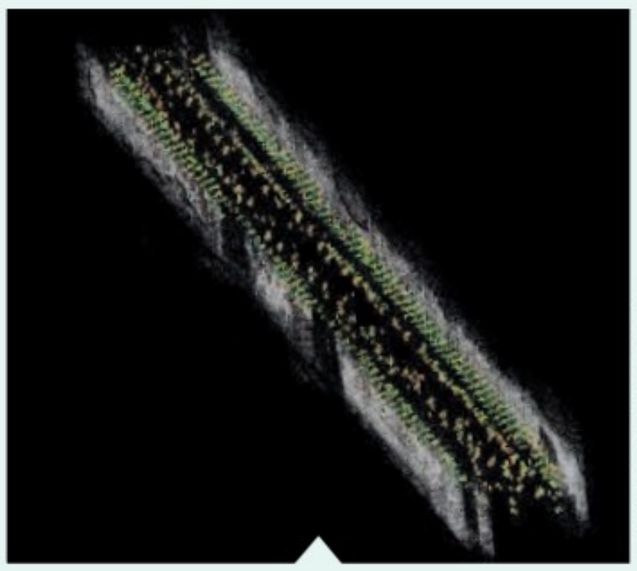
POUR EN SAVOIR PLUS

▸ Sur la plateforme « Bruits de couloir » : **https://bdc-pompei.com**

IMAGERIE

Une alliance de techniques artisanales et high-tech

« Bruits de couloir » a bénéficié de deux phases de terrain. En 2022, l'équipe a eu un mois *« pour tout observer à l'œil nu en lumière rasante, afin de photographier les graffitis et de localiser chaque trace sur une grille de spatialisation,* précise Éloïse Letellier-Taillefer. *Nous avons aussi fait de grands calques* in situ*, qui ont été scannés pour reconstituer numériquement les murs. » « Il a fallu s'adapter aux contraintes du terrain,* ajoute Marie-Adeline Le Guennec. *Cette dimension artisanale entraîne des aléas mais son adaptabilité fait sa force. »* Les informations recueillies ont ensuite été injectées dans une base de données et un jeu de fiches compilant description, localisation, traduction, etc. de chaque graffiti… mais aussi les liens entre eux. Puis, en 2025, sont venus s'ajouter cinq jours pour la couverture RTI (reflectance transformation imaging) du couloir : l'éclairage par dôme lumineux de chaque pan de mur, sous différents angles et à éclairage variable. *« Le tout en travaillant de nuit, afin de pouvoir contrôler parfaitement la lumière,* souligne



PROJET "BRUITS DE COULOIR"

15 000 clichés auront été nécessaires pour réaliser la modélisation en 3D des deux murs.

Éloïse Letellier-Taillefer. *Le procédé existait mais Éloi Gattet, de la société Mercurio Imaging, a relevé le défi de l'adapter à l'échelle de notre site.* » L'intérêt ? Disposer d'un modèle numérique dynamique, où l'on peut faire ressortir tel ou tel détail en jouant sur les paramètres. Marie-Adeline Le Guennec sourit : *« Obtenir un tel outil sur mesure a exigé un travail pluridisciplinaire permanent, jusque dans la restitution de la masse de données obtenue.* » L'équipe est unanime : la complémentarité des deux approches est la clé de leur réussite.

et, fait unique en Occident, en safaïtique — une langue protosémitique du Proche-Orient. Kyle Helms relie la douzaine de signatures concernées à des inscriptions voisines, mentionnant la III[e] légion romaine présente dans la région lors de la guerre civile de 68 : *« Un jeu d'enquête me donne à penser que ces graffitis ont été laissés par des nomades du désert noir jordanien* [situé dans la partie nord-est du pays, près des frontières avec la Syrie et l'Arabie saoudite] *qui, incorporés à l'armée romaine, ont marché en Italie lors de la campagne pour installer Vespasien comme empereur.* » L'hypothèse de ces hommes loin de chez eux, campant peut-être dans cette ruelle couverte pour un peu de protection, renforce encore le côté cosmopolite du site.

« Ce qui est également intéressant, c'est la capacité à dessiner qui s'observe, souligne Marie-Adeline Le Guennec. *Car il y a une véritable qualité dans les motifs, notamment des bateaux, qui peuvent certes se limiter à des croquis mais aussi montrer une grande précision en détaillant cargaisons, cordages, etc.* » Tout comme le texte, le dessin peut être informatif, un divertissement, une caricature, une parodie plus ou moins fine, etc. Ceux qui tracent sont capables de croquer ce qu'ils ont sous les yeux, qu'ils connaissent grâce à leur profession — deux ports jouxtaient Pompéi et les marins y étaient nombreux —, mais ils peuvent aussi restituer des représentations mentales partagées par tous. *« Cela témoigne d'une véritable culture commune de l'image et nous parle des compétences graphiques de la population,* décrypte l'historienne. *Un champ de recherche encore très peu étudié malgré sa richesse. »*

Les graffitis n'étaient pas perçus comme des détériorations

Notre « simple » couloir s'impose comme un lieu majeur de mixité sociale et d'activité, loin de se limiter à son rôle d'accès aux théâtres. *« Les textes juridiques romains garantissaient à tous l'entrée aux lieux de spectacle,* indique Éloïse Letellier-Taillefer. *On a l'impression que ce passage — voire les théâtres — était accessible tout le temps ou peu s'en faut, malgré ses portes : c'était un véritable espace public, que les usagers se sont approprié. »* Mieux : *« Ces graffitis bigarrés prouvent qu'il y avait tout un pan de culture partagé entre les élites et les autres catégories de populations,* estime Marie-Adeline Le Guennec. *Leurs interactions étaient bien plus nuancées et moins binaires qu'on le croit souvent. »* Et tout à fait acceptées : pendant leurs 150 ans d'existence, nos deux murs bavards n'ont jamais été réenduits. *« Ce qui signifie que les graffitis présents n'étaient pas perçus comme des détériorations : personne n'a ressenti le besoin de les recouvrir »*, constatent les chercheuses. Un ancêtre donc des murs des réseaux sociaux, sans censure ni biais algorithmiques… et bien plus pérenne. ■

PAUL PALAU/ONLYFRANCE.FR

La Tour Régine (au premier plan), une des forteresses de Lastours (Aude) faussement appelées « châteaux cathares ».

À la redécouverte des « châteaux cathares »

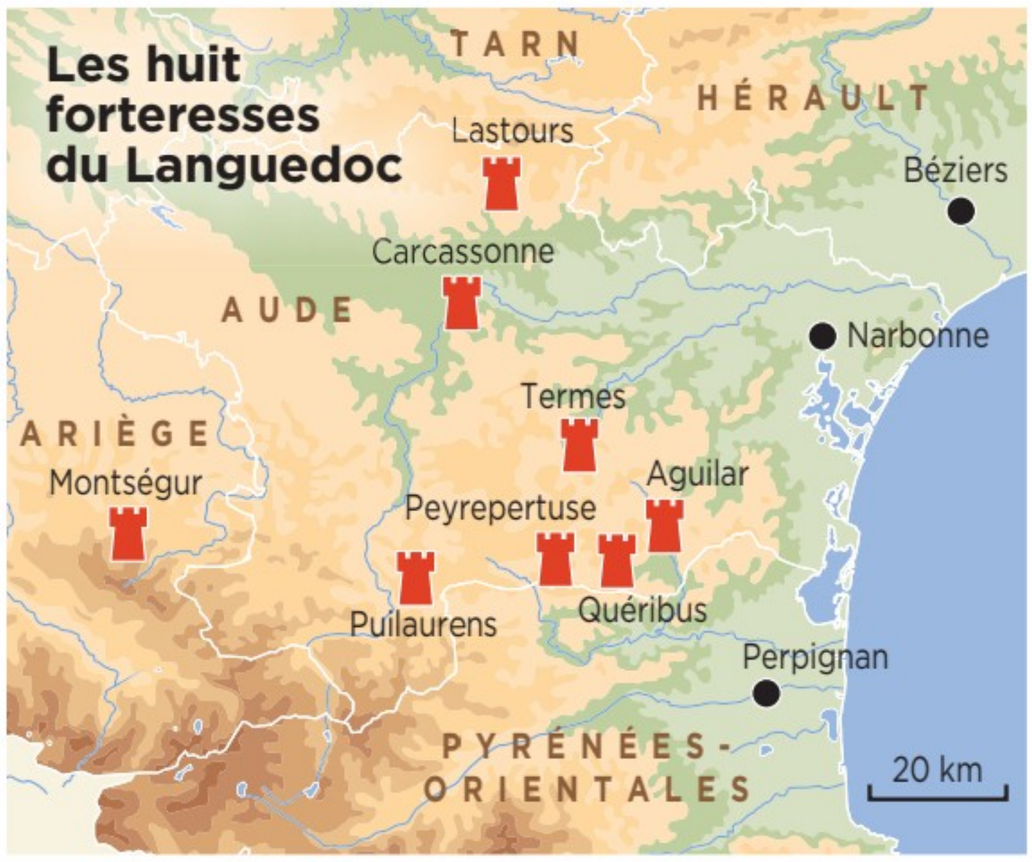
Parmi les 22 forteresses royales du Languedoc, huit ont été retenues pour candidater au patrimoine mondial de l'Unesco. Retour sur l'histoire de ces sites exceptionnels qui conservent la mémoire des dissidences religieuses au Moyen Âge.

Les guides touristiques régionaux les appellent les « citadelles du vertige ». La culture populaire les désigne sous le célèbre nom de « châteaux cathares ». Pourtant, en ce mois de juillet, elles pourraient intégrer la prestigieuse liste du patrimoine mondial de l'Unesco sous un tout autre titre : ces chefs-d'œuvre d'architecture médiévale sont candidates sous l'appellation de « forteresses royales du Languedoc ». Mais qu'en est-il vraiment de ces trésors du patrimoine national, et pourquoi ce changement de nom ?

Perchées depuis plus de 700 ans au sommet de pitons escarpés, Montségur, Puilaurens ou encore Peyrepertuse semblent monter la garde pour l'éternité, comme si elles continuaient de protéger leurs territoires. Pour les atteindre, mieux vaut avoir de bonnes jambes. Mais une fois en haut, le panorama est exceptionnel. À Quéribus, dans les Corbières, on domine la vallée de la Maury qui formait autrefois la frontière avec le royaume d'Aragon et, par beau temps, on peut voir au loin le sommet enneigé du Canigou.

La réforme grégorienne, un tournant pour la chrétienté

Du château de Montségur, en Ariège, construit à 1207 mètres d'altitude, une large partie du piémont pyrénéen s'étend à perte de vue. Et si le mot « cathare » a désormais été effacé des pancartes touristiques installées par le département, le nom de la forteresse, construite sur ordre du roi de France au XIIIe siècle, ravive immédiatement, dans tout le Sud-Ouest, la mémoire de ces hérétiques qui font couler tant d'encre depuis le XIXe siècle. *« Le terme abusif de châteaux "cathares" est lié au fait qu'il y avait auparavant, sur plusieurs de ces sites, des seigneurs qui étaient en accointance avec les cathares. Mais ces derniers n'ont laissé aucun bien matériel »,* expose Anaïs Monrozier, cheffe de projet de l'association Mission patrimoine mondial. À Montségur, au début du XIIIe siècle, le seigneur Raimond de Péreille, réputé proche des hérétiques, dirige un *castrum,* une place forte qui accueille des cathares, raconte Fabrice Chambon, guide conférencier au château. Ce *castrum* est assiégé en 1243 et plus de 200 hérétiques sont brû-



BRUNO BOURGEOIS

STEPHANE COMPOINT/ONLYFRANCE.FR

Quéribus, Termes et Montségur (de gauche à droite) figurent parmi les huit forteresses les plus emblématiques du Languedoc médiéval. Elles témoignent de la conquête du Midi par le roi de France, qui fit reconstruire ou transformer ces sites stratégiques après la croisade contre les Albigeois au XIIIe siècle.

lés. Dans la foulée, un nouveau château (celui que l'on peut encore visiter de nos jours) est construit sur ordre du roi de France. Ce décalage résume toute l'ambiguïté des « châteaux cathares » : les lieux conservent la mémoire des dissidences médiévales, mais les forteresses que l'on visite aujourd'hui racontent surtout la reprise en main du Languedoc par le roi de France, après la croisade contre les Albigeois. Pour comprendre, il faut remonter avant la construction des forteresses, car l'histoire de l'hérésie ne débute pas au XIIIe siècle.

Dans les sources, on trouve leurs traces au moins deux siècles plus tôt. À partir des années 1120, les signalements se multiplient dans une grande partie de la chrétienté : dans les Flandres, en Toscane, à Lyon et, bien sûr, dans le Languedoc. *« Si on a plusieurs poches de dissidence, ce n'est pas parce qu'il y aurait eu une sorte d'internationale de l'hérésie,* explique Arnaud Fossier, maître de conférences en histoire médiévale à l'université de Bourgogne. *C'est qu'en différents lieux, des individus critiquent le nouveau pouvoir de l'Église, lié à la réforme grégorienne. »* Cette dernière démarre vers la fin du XIe siècle et change fondamentalement les rapports entre les laïcs et les clercs. *« Le clergé est doté d'une sacralité nouvelle qui le rend supérieur aux laïcs,* décrit le chercheur. *Les prêtres doivent être célibataires et ils sont désormais seuls à pouvoir distribuer les sacrements et interpréter la Bible. »* Ces réformes ne plaisent pas à tout le monde, d'autant plus que les clercs ne sont pas toujours exemplaires… Vie en concubinage, vente de sacrements, autant de comportements qui passent mal. Certains contestent cette nouvelle « théocratie pontificale » et veulent se rapprocher des Écritures, en avoir un accès direct — d'autant plus que dans les villes, de plus en plus de marchands et de bourgeois savent lire.

Du conflit religieux à l'annexion territoriale

Face à cette contestation, l'Église décrète que certains vont trop loin et les qualifie d'hérétiques. *« Dans le Midi, les hérétiques refusent les églises (les bâtiments),* rappelle la médiéviste Hélène Débax, professeure à l'université Toulouse Jean-Jaurès, chercheuse au laboratoire Traces. *Ils estiment qu'on peut rencontrer Dieu partout. Ils rejettent aussi les sacrements — baptême, mariage, etc. —, tout ce que l'Église essaie d'imposer à ce moment-là. Ils refusent également la médiation du clergé, et donc l'Église comme institution… »* En conséquence, cette dernière se sent menacée.

Des mouvements hérétiques sont dénoncés partout en Europe, mais dans le Languedoc, un évènement va tout changer : en 1208, le pape Innocent III appelle à une croisade contre ces hérétiques, qu'il appelle les « Albigeois » en référence à la ville d'Albi dirigée par le puissant vicomte Raimond Roger Trencavel. *« Dans le Languedoc,* décrit Hélène Débax, *il n'y avait pas de pouvoir incontesté, la situation était assez conflictuelle localement entre les Trencavel et les comtes de Toulouse. De plus, l'Église du Midi était manifestement assez indépendante et la papauté a saisi l'occasion de la mettre au pas. »*

Le pape, qui veut imposer la supériorité du pouvoir ecclésiastique sur le pouvoir civil, prend pour prétexte l'assassinat de son légat, son représentant, en 1208 : il accuse Raimond VI, le comte de Toulouse, et lance un appel à la croisade contre les Albigeois. En 1229, après vingt ans de guerre et plusieurs massacres, le traité de Meaux-Paris met un terme aux hostilités. Le roi de France récupère les terres des Trencavel et le comte de Toulouse doit démanteler les fortifications de ses villes et châteaux.

Politiquement, la chute des Trencavel d'Albi fait tomber leurs terres dans le

PAUL PALAU / ONLYFRANCE.FR

PAUL PALAU / ONLYFRANCE.FR

domaine royal. Ces vastes territoires — d'Albi à Béziers en passant par Carcassonne — sont désormais administrés directement par le roi de France. Ce dernier installe son sénéchal (l'équivalent d'un préfet) à Carcassonne, et entreprend un grand programme de fortification militaire.

Une architecture « capétienne » adaptée au relief

Dans les années qui suivent, il demande à ses lieutenants de saisir les places fortes seigneuriales qui résistent, comme celles de Montségur ou de Quéribus. *« Le* castrum *de Montségur va tenir tête à l'Église et à la Couronne pendant près de vingt ans après la fin de la croisade,* déroule Fabrice Chambon, *et en 1244, après onze mois de siège, la communauté cathare de Montségur préférera choisir le bûcher plutôt que de renoncer à sa foi. »* Le *castrum* est rasé et un nouveau château est construit. Pour le roi Louis IX, l'édification des forteresses dans le Languedoc répond à un double objectif: *« Asseoir son pouvoir sur un territoire qui est encore jugé rebelle, hérétique, et montrer sa puissance au royaume d'Aragon voisin, qui a des velléités d'expansion »*, résume Anaïs Monrozier. Les maîtres d'œuvre du roi bâtissent 22 châteaux dans la région en moins de cinquante ans. Avec leurs tours circulaires et leurs archères, ces sites défensifs sont des exemples d'architecture « capétienne », un style conçu initialement pour les plaines du nord de la France. *« Mais, ici, cette architecture a été adaptée au relief, donnant lieu à des prouesses architecturales. Le château est le prolongement de son rocher. »*

Les forteresses du Languedoc ne sont donc pas cathares. Pour autant, les sites sur lesquels elles ont été construites appartenaient bien, avant la croisade et parfois quelques années après, à des seigneurs locaux souvent proches des hérétiques. *« À Quéribus, le seigneur Chabert de Barbaira accueille des cathares au moment de la croisade,* détaille Anaïs Monrozier. *Il refuse de se soumettre au roi de France au milieu du XIIIe siècle et voit donc l'armée encercler le château* [dont Barbaira assurait le commandement depuis 1242] *en 1255. Après un mois de siège, il se rend. »*

Des forteresses à l'emplacement stratégique

Là aussi, sur le site de l'ancienne place forte, une forteresse royale est édifiée. Il faut dire que l'emplacement est exceptionnel : tout en haut d'un piton rocheux il offre une vue à presque 360 degrés. Il est d'autant plus stratégique qu'à une dizaine de kilomètres, juste en contrebas, se situe la frontière avec le royaume d'Aragon. Celle-ci sera déplacée plus au sud au XVIIe siècle, lors du traité des Pyrénées signé entre Louis XIV et le royaume d'Espagne (le royaume de France intégrera le territoire qui correspond aujourd'hui aux Pyrénées-Orientales). Témoins des conflits religieux qui ont traversé le Midi médiéval, ces forteresses sont aussi les vestiges monumentaux d'une conquête politique menée par la monarchie capétienne. C'est cette histoire à plusieurs facettes — entre dissidence religieuse, conflit avec la papauté et affirmation du pouvoir royal — que la candidature de huit d'entre elles au patrimoine mondial de l'Unesco entend mettre en lumière. ■

Marika Julien, envoyée spéciale

H. DEBAX

« Dans le Languedoc, il n'y avait pas de pouvoir incontesté, la situation était assez conflictuelle localement »

Hélène Débax, professeure en histoire du Moyen Âge à l'université Toulouse Jean-Jaurès et chercheuse au laboratoire Traces

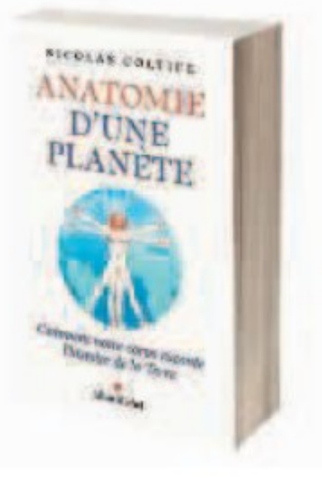
RENDEZ-VOUS

YANN ARTHUS-BERTRAND / HEMIS.FR

Quand l'histoire de la Terre se lit dans notre corps

Le géophysicien Nicolas Coltice décrit les liens intimes entre notre évolution biologique et la formation de notre planète. Une enquête fascinante.

HÉRITAGE De sa naissance à nos jours, non seulement l'histoire de la Terre a façonné notre environnement, mais notre propre corps en porte également la mémoire. Mêlant récits d'expéditions et souvenirs personnels, l'auteur part sur les traces du passé géologique et biologique de notre planète, et la manière dont cela nous a forgés. L'oxygène que nous respirons aujourd'hui, par exemple, ne provient ni des arbres ni du plancton océanique, dont la production est compensée par la respiration des organismes et leur décomposition ; c'est, en réalité, « *un héritage lointain, accumulé lors de périodes géologiques où la Terre en produisait plus qu'elle n'en consommait* ».



Notre rythme circadien est lui-même synchronisé avec la durée de rotation de la Terre sur elle-même. Or, il y a deux milliards d'années, un jour ne durait que 19 heures ! Nos rythmes biologiques sont ainsi liés à l'existence de la Lune, dont l'éloignement annuel de 3,8 cm est la clé de l'allongement des jours. Quant aux sels minéraux — potassium, calcium, fer, magnésium, etc. — nécessaires à notre organisme, ils sont issus des roches de la croûte continentale et restitués par les plantes dans notre assiette. Deux découvertes récentes tracent un nouveau lien entre nous et notre planète. Notre corps abrite environ 40 000 milliards de micro-organismes, qui nous relient aux premières formes de vie terrienne, il y a 3,5 milliards d'années. Or, les entrailles de la Terre renferment, elles aussi, un monde enfoui de bactéries et d'archées vivant dans des fractures minérales jusqu'à plusieurs kilomètres sous la surface ! « *Chaque pas, chaque souffle, chaque pensée nous relie à la longue histoire de notre planète* », rappelle l'auteur. Vertigineux ! ■

Sylvie Rouat

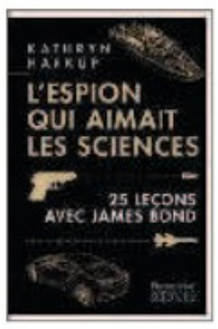
Anatomie d'une planète, Nicolas Coltice, Albin Michel, 288 p., 21,90 €

SOMMAIRE

▶ C'est à lire p. 104
▶ C'est à voir p. 106
▶ Le ciel des mois de juillet et d'août p. 108
▶ Les jeux de l'été p. 110

Les gadgets de 007

TECHNOLOGIES S'il est une saga largement nourrie de science, c'est bien celle de James Bond. Rayons de la mort, poisons sophistiqués,

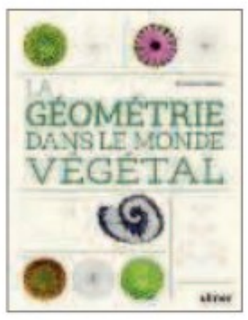


transports en tout genre : les technologies sont souvent au cœur des intrigues. Dans cet ouvrage, Kathryn Harkup démêle le vrai du faux et évalue la plausibilité des gadgets de l'agent 007. On y apprend autant sur la science que sur les coulisses des films. Mention spéciale pour l'histoire du laser de *Goldfinger* (1964), utilisé par les scénaristes à peine quatre ans après son invention… ■ **F. N.**

L'Espion qui aimait les sciences, Kathryn Harkup, Flammarion, 448 p., 23 €

Plantes et maths

BOTANIQUE Ils dessinent des motifs en spirale, en hélice, en parfaite symétrie, s'enroulent et s'accrochent, esquissent des étoiles, s'ornent de tracés réticulés, révèlent d'hypnotiques organisations fractales… L'extraordinaire diversité



géométrique des végétaux est ici passée en revue, photos et schémas à l'appui, car botanique et maths s'y entremêlent, en partant du regard posé sur les plantes. Cet ouvrage de vulgarisation très accessible accompagne notre perception de la surface vers l'intimité de l'univers végétal. ■ **A. De B.**

La Géométrie dans le monde végétal, Élisabeth Dumont, Ulmer, 224 p., 25 €

L'incroyable Grandma

RÉCIT Emma Gatewood est une légende ! À l'âge de 67 ans, en 1955, elle fut la première femme à boucler d'une traite les 3500 km du

sentier des Appalaches. Chaussée de simples sneakers et baluchon sur l'épaule, celle que l'on surnomma Grandma Gatewood *« marche pour être en paix »* après. Rien ne l'effraie : ours, torrents en crue, nuits glaciales à la belle étoile. Et tout la comble de bonheur, dans ces espaces sauvages que l'on découvre avec elle. Repérée tel un phénomène, elle enflamma l'Amérique. ■ **A. De B.**

La Meilleure Façon de marcher, Ben Montgomery, Paulsen, 288 p., 22 €

Science et imaginaire de la préhistoire

SYNTHÈSE Ce qui devait d'abord être le catalogue de l'exposition du Collège de France *Préhistoire, entre utopie et réalité* *(lire p. 106)* est devenu un beau livre, mais aussi une synthèse sur l'état actuel des connaissances en préhistoire. Le paléoanthropologue Jean-Jacques Hublin s'est entouré de chercheurs, d'artistes et de conservateurs de renom pour offrir, chapitre après chapitre, un éclairage sur la naissance de la paléoanthropologie, l'art paléolithique, la notion d'espèce, la place des femmes ou encore les biais culturels qui traversent les représentations de la préhistoire. Chose originale, sa publication s'accompagne de celle d'un deuxième livre beaucoup plus grand public mais tout aussi exigeant, où la plupart de ces thèmes sont explorés sous la forme de questions-réponses. Après cette double lecture, la préhistoire conserve, certes, une part de mystère, mais beaucoup moins de zones d'ombre. ■ **M. N.**

Préhistoire, entre utopie et réalité, 248 p., 32 € et **J'ai rêvé de préhistoire,** Collège de France éditions, 96 p., 19,95 €

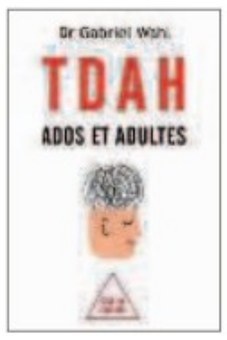
Le jardin, miroir du monde

BD Cela commence par le jardin d'Éden — une grande carte retrace même les hypothèses de sa localisation —, les oasis paradisiaques dans le désert d'Arabie, l'évocation, dans l'*Épopée de Gilgamesh* il y a 4600 ans, d'un lieu de verdure luxuriant. Et se termine par la découverte des principes de la permaculture, des récentes réalisations du jardin des Migrations à Marseille ou de celui de Luma, à Arles, façonnés par la prise en compte du dérèglement climatique. Entre les deux, des millénaires d'une histoire des jardins ultra-documentée et racontée tambour battant en BD, que l'on traverse accompagné par le sympathique personnage d'un « génie des lieux » tout entier dévolu à la pédagogie. Le jardin s'y dévoile dans ses multiples facettes, nourricière, esthétique, économique, sociale, scientifique ou politique : par-delà le temps et la géographie — de la Renaissance italienne aux jardins du Taj Mahal au XVII[e] siècle, et aux contemplatifs jardins japonais — il ne cesse de refléter la complexité de nos visions du monde. ■ **Andreina De Bei**

La Belle Histoire des jardins. Dix mille ans de culture, Catherine Delvaux et Simon Hureau, Les Arènes BD, 215 p., 26 €

Bien vivre le TDAH

ÉTAT DES LIEUX Le trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) ne disparaît pas à la fin de l'enfance. Chez les adolescents et les adultes concernés, difficultés de concentration,



impulsivité ou agitation intérieure peuvent fragiliser la vie sociale, affective et professionnelle. Dans cet ouvrage nourri de témoignages, le psychiatre Gabriel Wahl dresse un état des lieux clair et nuancé du TDAH. Des mécanismes neurobiologiques aux traitements disponibles, il démonte au passage les idées reçues sur ce trouble encore mal compris. ■ **L. L.**

TDAH Ados et adultes, Gabriel Wahl, Odile Jacob, 272 p., 23,90 €

▶ **Ce symbole désigne les nouvelles expositions**

EXPOSITIONS

Amboise (37)

Léonard de Vinci, maître de l'eau
Hébergée au château du Clos Lucé, cette exposition consacrée au maître de la Renaissance rassemble des pièces exceptionnelles, telles que les dessins originaux du *Codex Atlanticus*, des maquettes d'inventions et des machines hydrauliques.
Château du Clos Lucé, 2, rue du Clos Lucé, jusqu'au 13 septembre. Rens. : 02.47.57.55.78.

Chambéry (73)

Jour sur la nuit
La nuit est un monde fascinant, parfois inquiétant, observé ici dans un parcours interactif et ludique. Entre écologie, psychologie, astronomie et culture.
Galerie Eurêka, 150, rue de la République, jusqu'au 29 août. Rens. : 04.79.60.04.25.

Grenoble (38)

Rouge comme neige
Un phénomène atypique se produit une fois par an dans les Alpes, entre 2000 et 3000 mètres d'altitude : des neiges fondantes se teintent de rouge en raison de la présence de micro-organismes.
Muséum de Grenoble, 1, rue Dolomieu, jusqu'au 26 juillet. Rens. : 04.76.44.05.35.

Guilvinec et Léchiagat (29)

La mer en partage
Installé en plein air le long du port, ce festival photographique célèbre la mer et ceux qui en vivent. Il retrace les enjeux humains, sociaux et environnementaux liés aux océans, alliant beauté des paysages et fragilité des équilibres maritimes.
Communes de Guilvinec et Treffiagat-Léchiagat, jusqu'au 30 septembre. Rens. : 07.67.55.40.39.

Le Bourget (93)

▶ **Drôles de vols. Caricaturer les expériences aériennes**
Le parcours revisite les grandes expériences aériennes à travers le regard mordant des caricaturistes, oscillant entre fascination pour le progrès et satire sociale.
Musée de l'Air et de l'Espace, 3, esplanade de l'Air et de l'Espace, jusqu'au 3 janvier 2027. Rens. : 01.49.92.70.00.

Les Eyzies (24)

Gestes d'éternité
Ce parcours immersif, intégrant des expériences en réalité virtuelle, nous entraîne aux origines des pratiques funéraires, à la rencontre d'*Homo sapiens* et des néandertaliens.
Musée national de Préhistoire, 1, rue du musée, jusqu'au 8 novembre. Rens. : 05.53.06.45.45.

Paris (75)

Byblos, cité millénaire du Liban
À travers des trésors archéologiques et une scénographie spectaculaire, l'exposition plonge au cœur de la cité portuaire antique, classée sur la liste du patrimoine mondial de l'Unesco. En exclusivité sont exposées les dernières découvertes des fouilles de Byblos.
Institut du monde arabe, 1, rue des Fossés-Saint-Bernard, jusqu'au 23 août. Rens. : 01.40.51.38.38.

Omnibot 2000, un robot conçu dans les années 1980. ►

MEG, DEMIAN TSCHUMI

Genève (Suisse) / Exposition

Le futur, c'est quoi ?

Le temps est-il linéaire, comme une frise chronologique, ou cyclique, comme les heures et les saisons ? Est-ce que le futur est derrière nous, invisible, contrairement au passé qui, lui, est connu ? Ainsi le conçoit le poème maori : *« Je marche à reculons vers l'avenir, les yeux rivés vers mon passé. »* Ou bien, est-ce que le futur n'est qu'une succession d'instants présents ? *« Les représentations du temps et de l'avenir varient selon les époques et les civilisations,* explique Iris Terradura, commissaire de l'exposition. *Elles influencent nos valeurs en tant que société : progrès, tradition, anticipation, engagement. »* Tel un voyage à travers le temps et l'espace, le parcours retrace la manière dont les peuples ont tenté d'appréhender l'avenir par des oracles, les lignes de la main ou encore des projections météorologiques. L'occasion de rappeler qu'il n'est pas question d'attendre, mais bien de créer notre futur. ■ **Thaïs de Bastard**

Musée d'ethnographie de Genève, 65, boulevard Carl-Vogt, jusqu'au 10 janvier 2027. Rens. : +41.2.24.18.45.50.

La Marine et les peintres. Quatre siècles d'art et de pouvoir
Depuis le XVIIe siècle, des artistes sont mobilisés pour construire la puissance maritime française. Des grandes batailles navales au régime de Vichy, une plongée dans l'histoire de l'art officiel français.
Musée national de la Marine, 17, place du Trocadéro, jusqu'au 2 août. Rens. : 01.53.65.69.48.

Plumes du paradis
Maître dans l'art de la parade grâce à son plumage et ses chorégraphies, l'oiseau de paradis fascine depuis les premiers siècles de notre ère, bien au-delà des forêts de Nouvelle-Guinée dont il est originaire.
Musée du quai Branly–Jacques-Chirac, 37, quai Branly, jusqu'au 8 novembre. Rens. : 01.56.61.70.00.

Préhistoire : entre utopie et réalité
Visions fantasmées ou reconstitutions scientifiques ? Une mise en regard de la recherche préhistorique et des récits sur les origines de l'humanité.
Collège de France, 11, place Marcelin-Berthelot, jusqu'au 19 juillet. Rens. : 01.44.27.11.47.

▶ Toutankhamon, son tombeau et ses trésors
Sur les pas de Howard Carter, le visiteur revit près de 100 ans plus tard la découverte du tombeau du pharaon, grâce à une reconstitution fidèle des chambres funéraires et des trésors qu'elles contenaient.
Paris Expo, porte de Versailles, jusqu'au 6 septembre.

MUSÉE LARCO, LIMA-PÉROU

Boucles d'oreilles de l'Oiseau-Guerrier (culture mochica, Ier-IXe siècle)

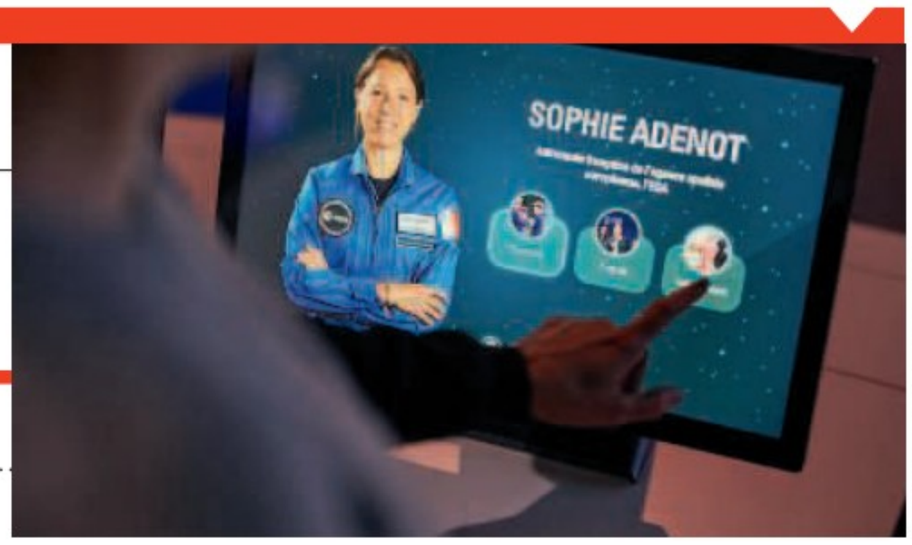
Draguignan (83) / Exposition

Inca. L'héritage sacré des Andes

À son apogée, l'Empire inca s'étendait des confins de la Colombie à l'Argentine. L'héritage qui nous est parvenu de ces trois millénaires d'histoire andine continue de fasciner par ses rituels, sa « cosmovision » et ses métaux précieux. À travers 235 chefs-d'œuvre venus de collections internationales, dont certains présentés pour la première fois hors du Pérou, l'exposition révèle une vision holistique du monde, dans laquelle montagnes, mer, forêts, êtres vivants et objets sont animés par une énergie vivante et sacrée. Elle explore également les contributions des cultures préincaïques, comme Nazca, en architecture, ingénierie et orfèvrerie. ■ **T. B.**
Hôtel départemental des expositions du Var, 1, bd Maréchal-Foch, jusqu'au 27 septembre. Rens. : 04.83.95.34.08.

Toulouse (31) / Exposition

Epsilon



CITÉ DE L'ESPACE-PIERRE CARTON

En février 2026, Sophie Adenot s'est envolée vers la Station spatiale internationale (ISS) pour une mission de neuf mois, menant quotidiennement des expériences en micropesanteur. L'exposition Epsilon s'ouvre sur un message audio de l'astronaute française et plonge le visiteur dans le quotidien singulier de ces scientifiques de l'espace. Grâce à une carte de position et à une vidéo de survol de la Terre, il est possible de suivre l'ISS en temps réel, de découvrir les sorties extravéhiculaires, les expériences scientifiques commentées par des experts, ainsi que la préparation et le suivi de la mission par les équipes au sol. Une exposition évolutive, au rythme de l'avancée de la mission. ■ **T. B.**
Cité de l'Espace, avenue Jean-Gonord, jusqu'au 31 décembre. Rens. : 05.67.22.23.24.

Saint-Denis (93)

▶ Croire et guérir. Et délivrez-nous du mal
Présentée dans l'ancien couvent du carmel de Saint-Denis, cette exposition explore les multiples façons de soigner le mal. Entre croyances, pratiques médicales et rituels, des liens persistent mêlant spiritualité et médecine.
Musée d'art et d'histoire Paul-Éluard, 22 bis, rue Gabriel-Péri, jusqu'au 15 novembre. Rens. : 01.83.72.24.57.

Strasbourg (67)

BiodiverCité
Une exploration de la faune peuplant les villes, en particulier de Strasbourg, dans cinq milieux types : la rue, les égouts, le parc, la cathédrale et la friche urbaine.
Musée zoologique, 29, boulevard de la Victoire, jusqu'au 31 décembre. Rens. : 03.68.98.50.00.

Versailles (78)

▶ Jardins des Lumières, 1750-1800
Loin de la géométrie stricte des jardins à la française, l'art paysager issu des idées des Lumières aspire à créer un dialogue plus sensible avec la nature, et des espaces propices à la contemplation.
Grand Trianon, château de Versailles, jusqu'au 27 septembre. Rens. : 01.30.83.78.00.

Scannez ce QR code pour retrouver toutes les expositions

LE CIEL DE JUILLET

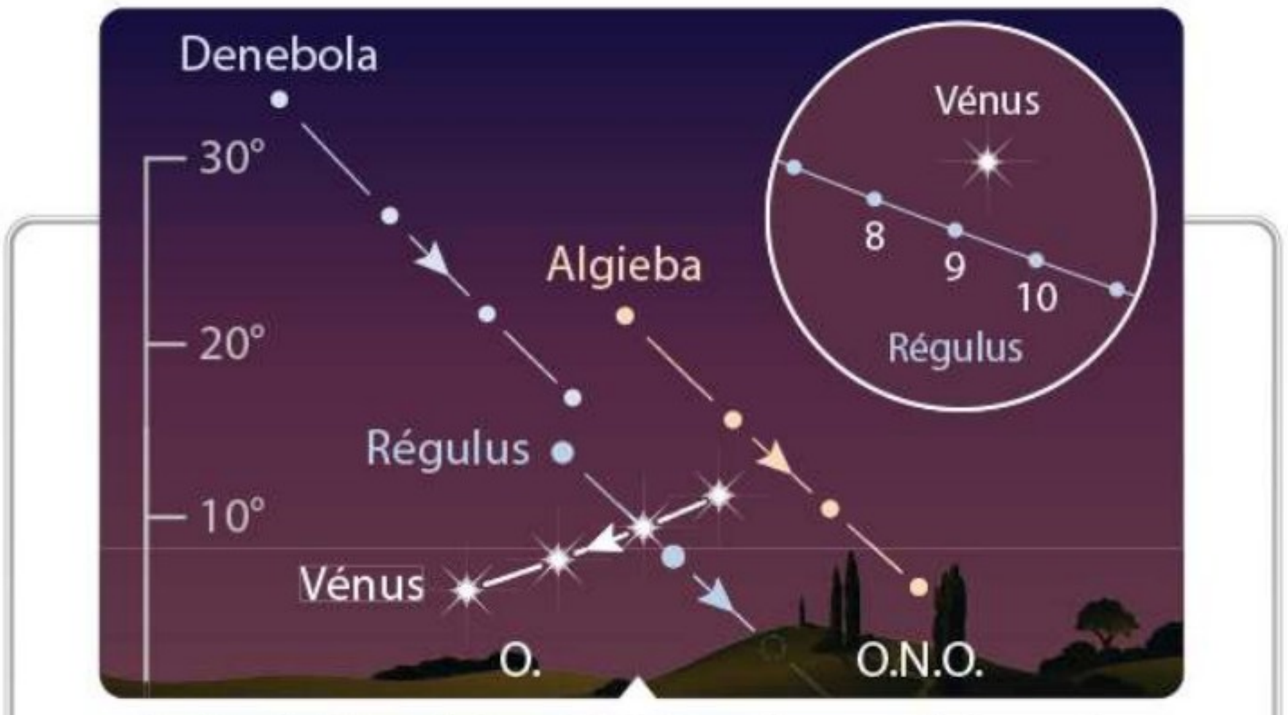
PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

MERCURE
La petite planète passe en conjonction inférieure le 13. Elle apparaît timidement en toute fin de mois, très basse vers le levant.

VÉNUS
Bien qu'elle continue à s'éloigner de la direction du Soleil, l'étoile du Berger voit ses conditions d'observation se dégrader. La faute en revient à l'écliptique qui s'abaisse progressivement au fil des jours en soirée, plaquant la planète sur l'horizon.

MARS
Peu brillante actuellement, la planète Rouge est visible vers l'est en fin de nuit. Elle se lève environ 2 h 25 avant le Soleil le 1er et 3 h 40 avant lui trente jours plus tard. On attendra la fin de l'année pour la retrouver dans de bonnes conditions.



Position de Vénus du 1er au 31 juillet, une heure après le coucher du Soleil, devant les étoiles principales du Lion. En médaillon : rapprochement entre Vénus et Régulus du 7 au 11, vu aux jumelles.

Vénus rencontre le Lion

TRÈS BRILLANTE mais basse sur l'horizon ouest en juillet, Vénus traverse lentement la constellation du Lion, dominée par les étoiles Régulus, Algieba et Denebola. Entre les 7 et 11, elle offre un joli rapprochement avec Régulus, observable dans les lueurs du crépuscule. La planète se couche alors un peu plus de deux heures après le Soleil.

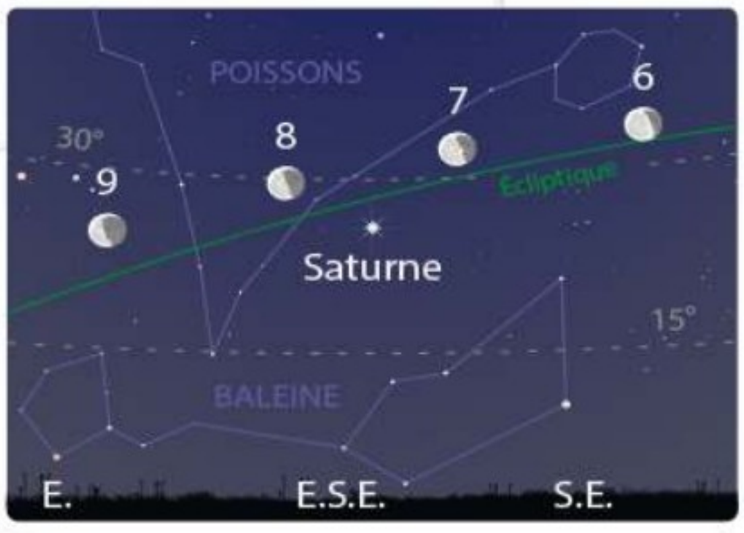
Notre conseil Choisissez un horizon ouest bien dégagé et commencez l'observation peu après le coucher du Soleil. Des jumelles permettront de mieux apprécier le rapprochement entre Vénus et Régulus.

JUPITER
La planète géante passe en conjonction avec l'astre du jour le 29 et n'est pas visible en juillet.

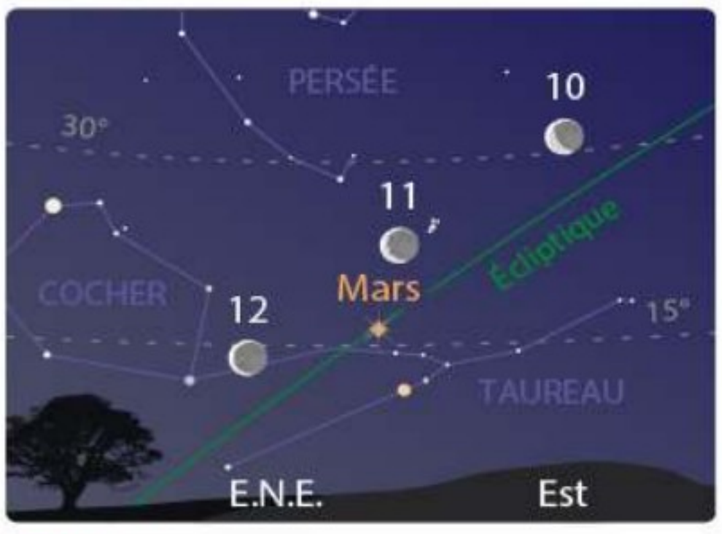
SATURNE
La planète aux anneaux est en quadrature occidentale (à 90° à l'ouest du Soleil) le 6. Ce passage signale le début d'une bonne et longue période d'observation de la planète, que l'on retrouve vers le sud en fin de nuit, à mi-hauteur dans le ciel.

L'appli du mois

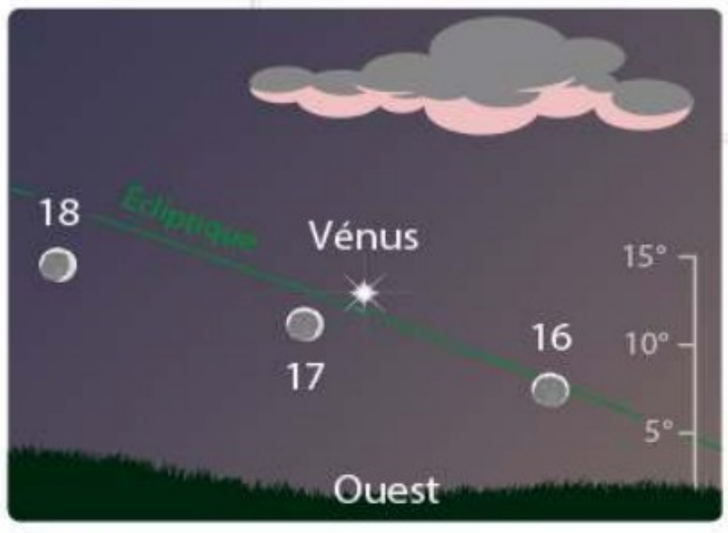
ÉCLIPSEOP
Créée par l'Observatoire de Paris, elle permet de préparer l'observation de l'éclipse totale de Soleil du 12 août 2026 (*lire aussi p. 6*). Elle fournit, pour n'importe quel lieu, les horaires des phases de l'éclipse. Elle permet aussi de visualiser la bande de totalité et les circonstances locales de l'éclipse. https://eclipseop.obspm.fr



LE 8, 2 H AVANT LE LEVER DU SOLEIL, la Lune en dernier quartier croise la planète Saturne dans les Poissons, à une trentaine de degrés au-dessus de l'horizon est-sud-est.



LE 11, 1 H AVANT LE LEVER DU SOLEIL, la Lune en dernier croissant passe près de Mars dans le Taureau, non loin de l'amas des Pléiades, bas dans le ciel de l'aube.



LE 17, 30 MIN APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, un fin premier croissant de Lune rejoint la planète Vénus bas sur l'horizon ouest, dans les lueurs du crépuscule.

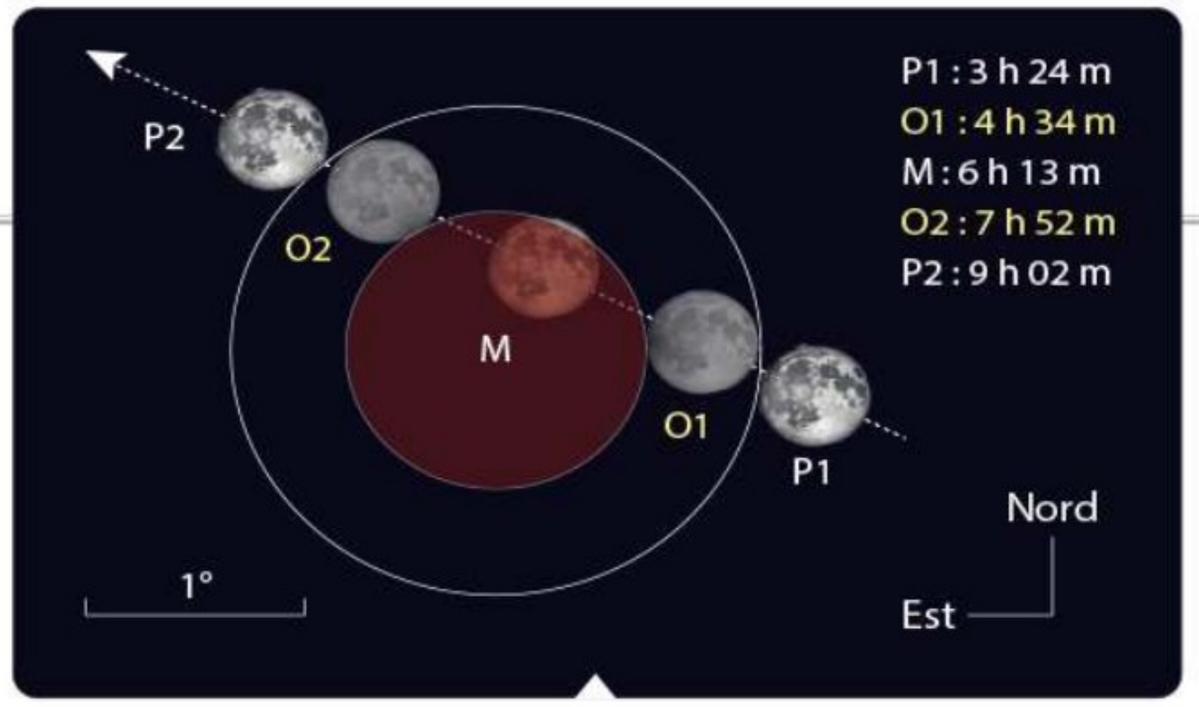
Scannez ce QR code pour découvrir la carte du ciel de juillet

Où sont les planètes ?

MERCURE Mercure atteint sa plus grande distance angulaire (plus de 19°) à l'ouest du Soleil le 2. Elle est observable le matin durant la première quinzaine, très basse vers l'est-nord-est. Elle passe en conjonction supérieure le 27.

VÉNUS La planète atteint sa plus grande distance angulaire (près de 46°) à l'est du Soleil le 15. Malgré cette élongation favorable, elle se traîne en soirée au-dessus de l'horizon ouest. Son éclat remarquable permet toutefois de l'identifier sans difficulté.

MARS Elle s'extrait des lueurs du levant et ne se lève pas moins de 5 h avant le Soleil en fin de mois. Elle quitte le Taureau pour les Gémeaux le 12. Sa présence dans une région riche en étoiles brillantes la fait passer presque inaperçue.



Les différentes phases de l'éclipse. De droite à gauche : entrée dans la pénombre de la Terre (P1), entrée dans l'ombre (O1), maximum de l'éclipse (M), sortie de l'ombre (O2) et sortie de la pénombre (P2).

La Lune s'éclipse... partiellement

DANS LA NUIT DU 27 AU 28, une éclipse partielle de Lune se produira. D'abord peu spectaculaire, elle gagnera en intérêt dès 4 h 34, commençant son périple dans l'ombre de la Terre. La partie du disque lunaire qui y sera plongée s'assombrira nettement et prendra une teinte rougeâtre. La Lune se couchera alors que l'éclipse atteindra son maximum.

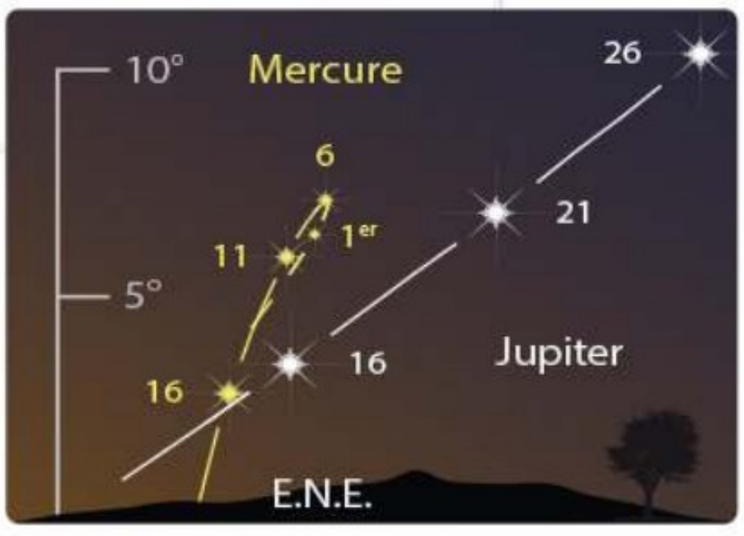
Notre conseil Aucune protection particulière n'est nécessaire. Assurez-vous d'avoir un horizon sud-ouest bien dégagé pour profiter au mieux du spectacle.

JUPITER La plus grosse des planètes fait un retour timide dans le ciel du matin et se lève un peu plus de 2 h avant notre étoile en fin de mois.

SATURNE La géante émerge de l'horizon en soirée et culmine vers le sud au moment où s'annonce l'aube.

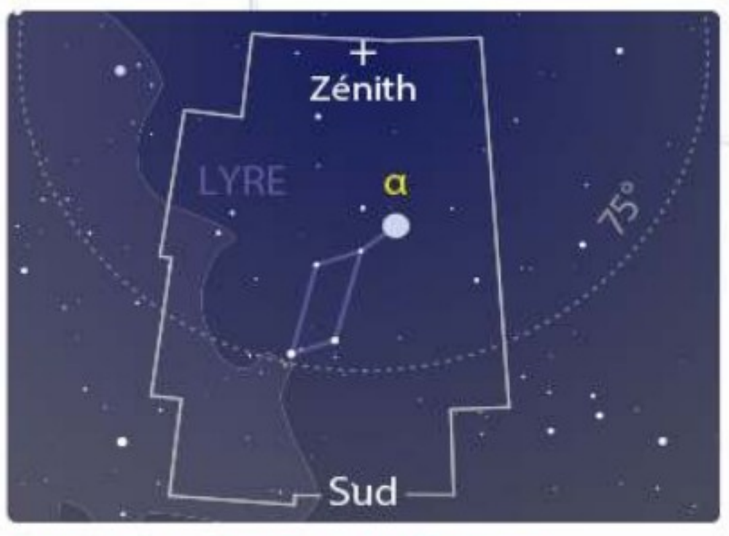
L'appli du mois

ASTERIA est une application web gratuite d'aide à l'observation du ciel. Accessible depuis un navigateur sur smartphone, tablette ou ordinateur, elle combine cartes du ciel, prévisions météorologiques, visibilité des astres et informations sur les principaux phénomènes célestes. Elle peut également être installée comme application web sur de nombreux appareils. https://asteria.waddensky.com



45 MIN AVANT LE LEVER DU SOLEIL, Mercure accompagne le retour de Jupiter dans le ciel du matin au cours de la première quinzaine, très bas vers l'est-nord-est.

DURANT LA NUIT DU 12 AU 13, vous devriez admirer jusqu'à plusieurs dizaines de météores par heure, provenant du célèbre essaim d'étoiles filantes des Perséides.



NOUS SOMMES TOURNÉS VERS LE ZÉNITH, AUX ENVIRONS DE 23 H. La Lyre serait une constellation insignifiante sans Véga (α), 2e étoile la plus lumineuse de l'hémisphère céleste nord.

Scannez ce QR code pour découvrir la carte du ciel d'août

JEUX

L'année passée a été riche en sciences, des missions spatiales dont Artemis II, à l'énigme des éléphants d'Hannibal et aux nombreux sites archéologiques découverts en Amazonie, en passant par la décongélation d'un cerveau de souris… Saurez-vous retracer avec nous les dernières découvertes scientifiques ? À vous de jouer !

Par Marie Parra et Marie-Virgine Speller

Solutions des jeux page 114

Énigmes spatiales

Niveau 1. Sophie Adenot est à bord de l'ISS. Son orbite autour de la Terre a une longueur de 42 500 km, et sa vitesse est de 28 000 km/h. Combien de tours de la Terre fait-elle en une journée ?

Niveau 2. Intégramme de l'espace : associez chaque planète à son diamètre, son satellite naturel et l'orbite de ce satellite, en suivant les indices :

1 Le satellite de la planète de 49 000 km de diamètre contient un « o » et orbite en plus de 2 jours.

2 La période orbitale du satellite de Saturne est près de 6 fois plus petite que celle du satellite d'Uranus, et 4 fois inférieure à celle du satellite de Neptune.

3 La planète qui accueille Encelade a un diamètre plus grand que Mars, mais plus petit que la planète qui accueille Io.

4 Phobos et Encelade ne sont pas les satellites de Neptune et le diamètre de cette dernière est au moins deux fois plus petit que celui de Saturne.

5 La période orbitale de Titania est au moins 10 fois plus grande que celle du satellite qui orbite autour de la planète de 6000 km de diamètre.

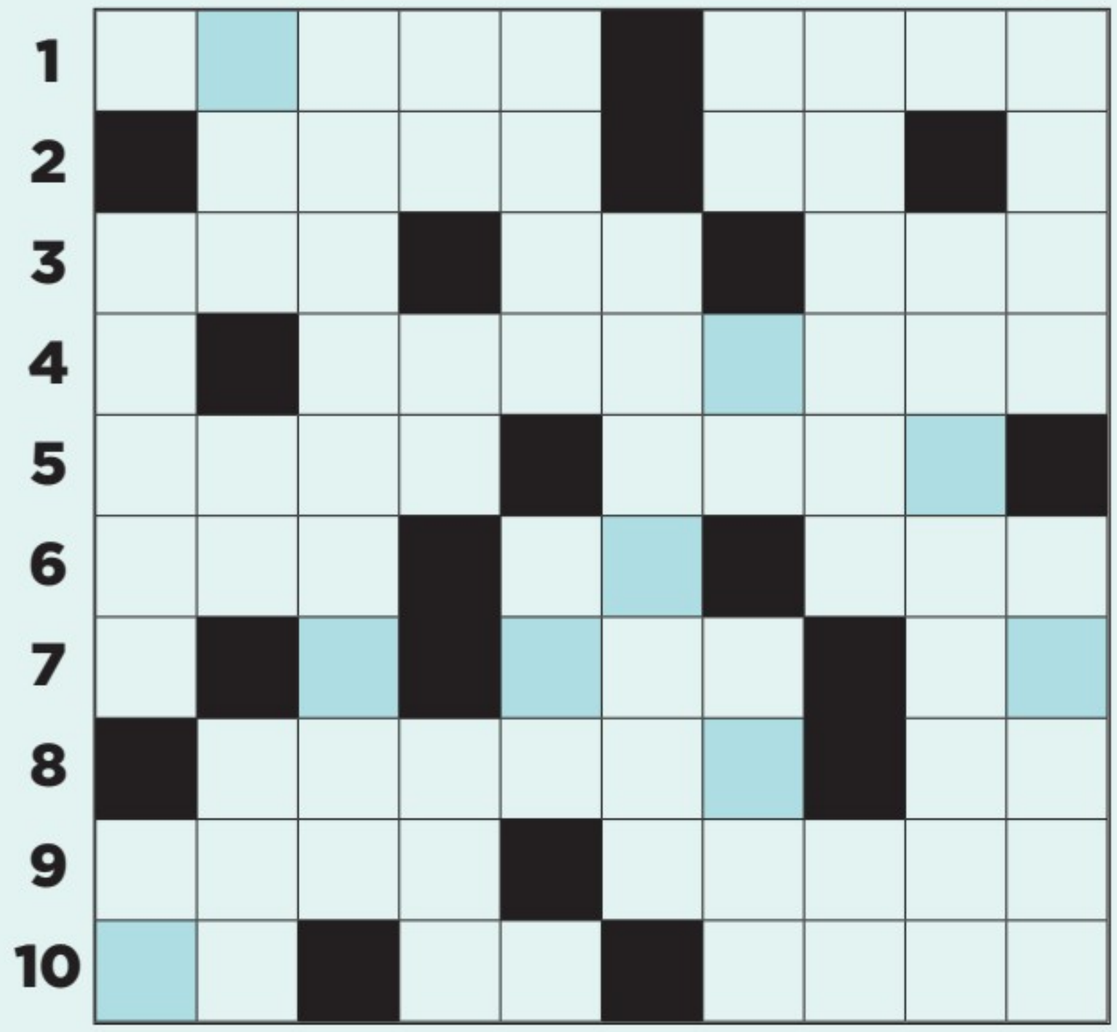
6 Le diamètre d'Uranus est moins grand que celui de la planète qui accueille Io, mais plus grand que la planète qui accueille un satellite d'une période orbitale de 0,33 jour.

7 Le diamètre de Saturne n'est pas le plus grand et Phobos orbite en moins de 2 jours.

		Diamètre (km)					Satellite					Période orbitale				
		50 000	6000	139 000	116 000	49 000	Io	Titania	Phobos	Triton	Encelade	1,38	1,75	8,71	0,33	5,89
Planète	Mars															
	Jupiter															
	Saturne															
	Uranus															
	Neptune															
Période orbitale	1,38															
	1,75															
	8,71															
	0,33															
	5,89															
Satellite	Io															
	Titania															
	Phobos															
	Triton															
	Encelade															

Mots croisés

Complétez la grille à l'aide des définitions et découvrez un célèbre mathématicien avec les lettres des cases bleues !



HORIZONTALEMENT

1. Il ne conserve que les ouvrages qui se défendent contre lui, d'après Sophie Germain – Flâna
2. La rouge révèle la passion – Réfléchi
3. Ce n'est pas beaucoup – Bas de gamme – Article
4. Vitesse
5. Forme d'être – Bien pour le dernier
6. Examen – Sur le tard – Il ne faut pas le demander à Alphonse Allais car pour lui il change tous les ans !
7. Réveilla la forêt – Au beau milieu du chemin
8. Gouffre où se perdent nos pensées, d'après Sophie Germain – Filet d'eau
9. Vraiment grave – Après un duel
10. Attire l'attention – Donne l'exemple – Signe accrocheur

VERTICALEMENT

A. Non vide – Pour la surprise
B. Des lustres – Petit tour – Espoir pour le naufragé
C. Il lie l'espace et le temps, d'après Sophie Germain
D. Au bas d'une lettre – Tête d'espion – Fou à lier
E. Isolé – Rangement
F. Marrent
G. Agent de liaison – Ce n'est pas ça – Pour jouer
H. Corrigera si besoin – Est à Londres
I. Ne sont jamais mises à la verticale sauf là
J. Point délicat – Sérieux adversaire

Quiz fonda

1 Combien d'expériences la spationaute Sophie Adenot doit-elle mener, environ, dans l'ISS ?
A. 20
B. 200
C. 2000

2 Quel est l'objectif principal de la mission Artemis II ?
A. Faire le premier survol habité de la Lune depuis plus de 50 ans
B. Envoyer des astronautes vers Mars
C. Déployer un télescope

3 À quelle altitude se trouve l'ISS ?
A. 200 km
B. 400 km
C. 800 km

4 Combien de temps dure une journée martienne ?
A. 24 h et 36 min
B. 26 h et 15 min
C. 27 h et 2 min

5 Quelle est la signature inattendue au centre de la nébuleuse de la Lyre ?
A. Un jet de plasma
B. Un disque d'accrétion stellaire
C. Un nuage de fer

GETTY IMAGES

Les superpouvoirs des animaux

Relier chaque animal à une fonction originale.

Les syrphes (Episyrphus balteatus)

1

Les chauve-souris Seminole (Myotis austroriparius)

2

Les papillons bogongs (Agrotis infusa)

3

Les chimères tachetées (Hydrolagus colliei)

4

Les éléphants d'Asie (Elephas maximus)

5

A brillent d'une lueur verte sous une lumière UV.

B développent des dents sur le front.

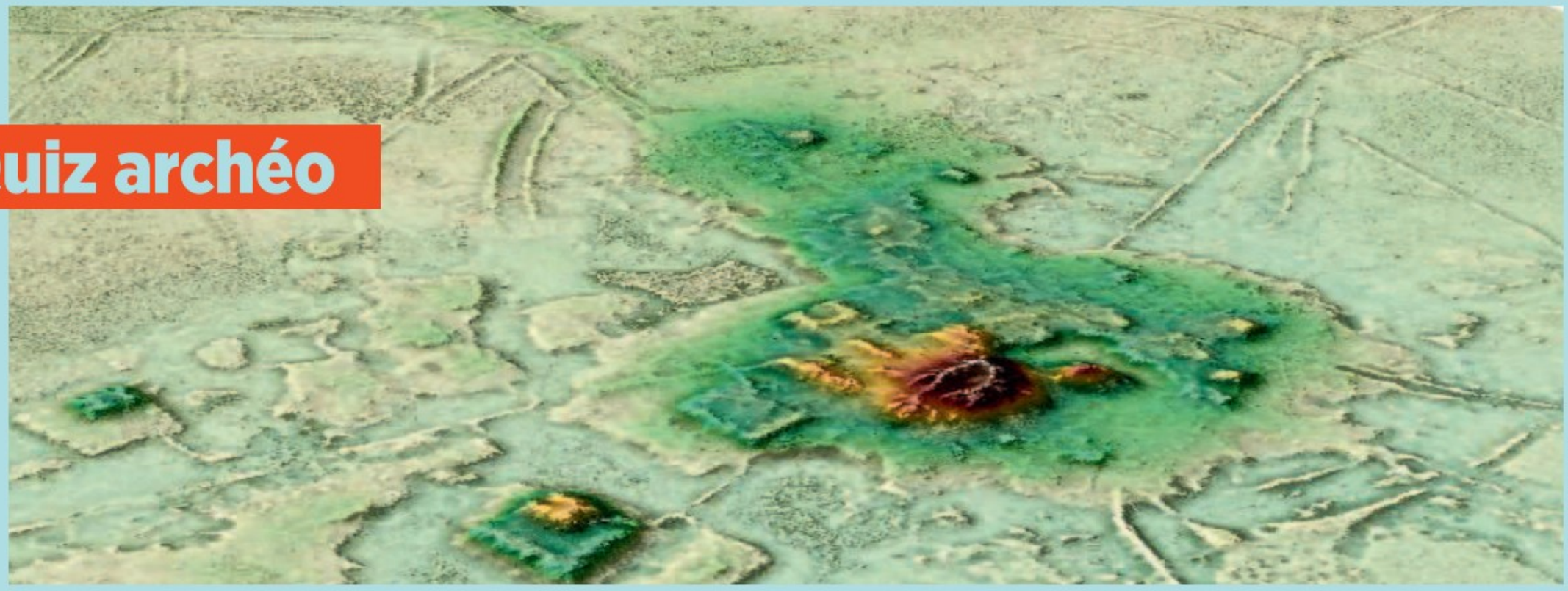
C migrent grâce aux étoiles et au champ magnétique terrestre par temps couvert.

D pollinisent sur des centaines de kilomètres.

E doivent leur dextérité à leurs moustaches.

S. VITZTHUM / BIOSPHOTO; MICHAEL. / MINDEN PICTURES / BIOSPHOTO ; GETTY IMAGES; A. MURCH / BIOSPHOTO; S. CORDIER / BIOSPHOTO

Quiz archéo



HEIKO PRÜMERS / DAI

1 Combien de sites archéologiques ont été révélés en Amazonie par la technologie du lidar ?
A. 1000
B. 5000
C. 10 000

2 Comment les chats domestiques ont-ils été introduits en Chine ?
A. Par les routes de la soie
B. Par un navire échoué sur la côte
C. Par une offrande entre empereurs

3 Quelle est la particularité de la civilisation minoenne, présente en Crète à l'âge de bronze ?
A. La production d'amphores
B. Le culte du Minotaure
C. La primauté de la femme

4 Quelle est la plus ancienne des constructions humaines ?
A. Les statues Moaï sur l'île de Pâques
B. Le site de Göbekli Tepe en Turquie
C. Les mégalithes de Stonehenge au Royaume-Uni

5 Où a été retrouvé l'os qui relance l'énigme des éléphants d'Hannibal ?
A. Dans le sud de l'Espagne
B. Dans le nord de l'Italie
C. En Provence

Sudoku

		7	9					1
	3		5	7			9	
1					4	6		
3		4	6		7	9		5
	6			4			1	
9		1	8		3	2		6
		2	7					3
	4			2			6	
7		5			6	1		

Chiffres croisés

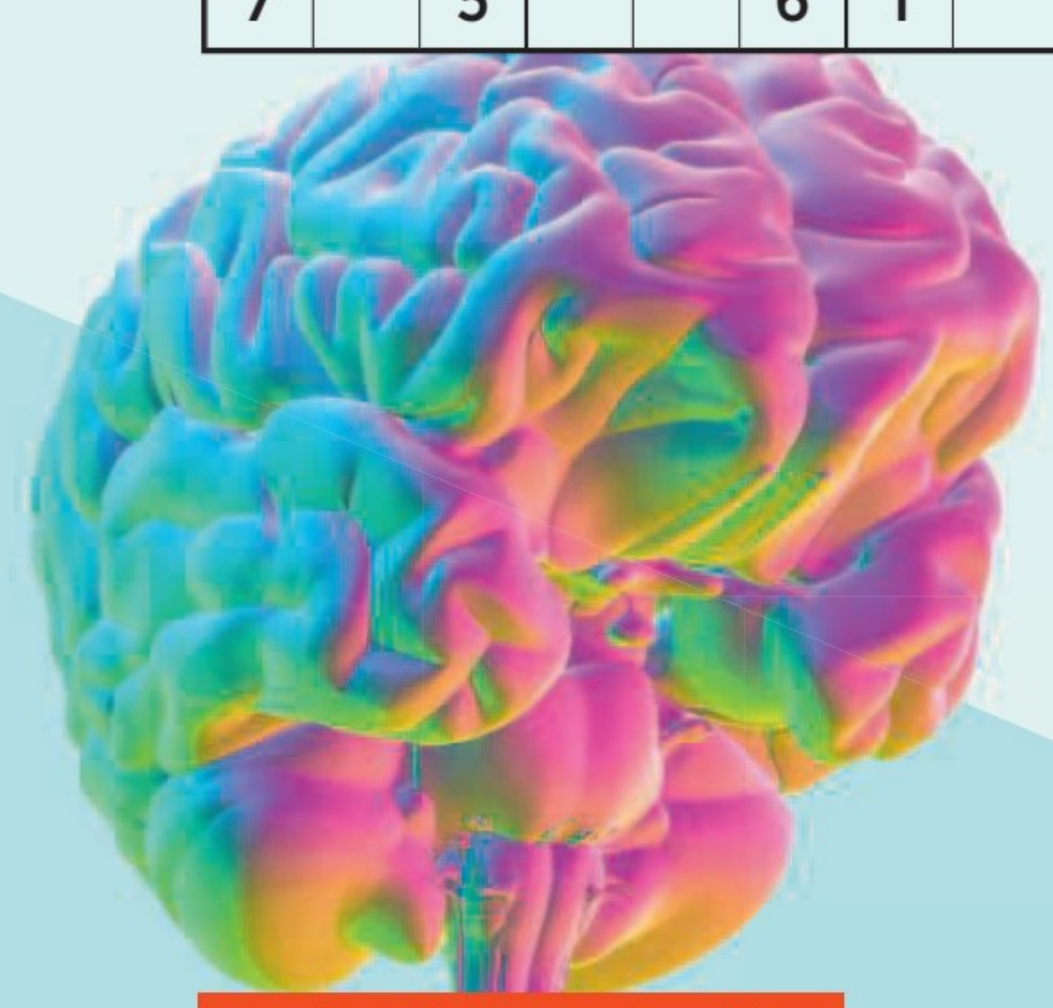
HORIZONTALEMENT

1. Année de naissance de Sophie Germain
2. Mes nombres sont successivement divisés par 2
3. Année d'entrée de Marie et Pierre Curie au Panthéon
4. Année de naissance de Carl Friedrich Gauss

VERTICALEMENT

A. Année de naissance d'Évariste Galois
B. Mes premier et dernier chiffres sont identiques
C. La somme de mes premier et deuxième chiffres est égale à mon troisième
D. La somme de mes deux premiers chiffres est égale à mon dernier

	A	B	C	D
1				
2				
3				
4				



PASIEKA/SPL/SUCRÉ SALÉ

Qui suis-je ?

1 Je n'ai pas de masse et je n'interagis presque pas avec la matière.

2 J'ai été détecté par un télescope sous-marin en 2023.

3 Je suis 10 000 fois plus énergétique que ce que l'on peut produire dans un accélérateur de particules.

4 Mon origine pourrait être liée à un trou noir.

Qui suis-je ?

Quiz santé

1 Où se situe l'interrupteur cérébral qui contrôle l'appétit ?
A. Dans l'hippocampe.
B. Derrière l'amygdale
C. Devant l'hypothalamus

2 Quelles cellules immunitaires changent de réponse avec l'âge, et sont à l'origine d'une moindre efficacité des vaccins ?
A. Les monocytes
B. Les neutrophiles
C. Les lymphocytes

3 Quel organe de souris cryogénisé les chercheurs ont-ils réussi à réactiver ?
A. Un cerveau
B. Un cœur
C. Un poumon

4 Quelle nouvelle arme se développe contre la résistance aux antibiotiques ?
A. Un vaccin ARNm
B. La création de virus bactériophages
C. Crispr-Cas9

5 Jusqu'à quel âge peut durer l'adolescence dans notre cerveau ?
A. 32 ans
B. 27 ans
C. 23 ans

SOLUTIONS DES JEUX

PAGE 111

Quiz fonda

1. B / **2.** A / **3.** B / **4.** A / **5.** C

PAGE 112

Les superpouvoirs des animaux

1. D / **2.** A / **3.** C / **4.** B / **5.** E

Quiz archéo

1. C / **2.** A / **3.** C / **4.** B / **5.** A

PAGE 113

Qui suis-je ?

Le neutrino le plus énergétique jamais observé (KM3-230213A)

Quiz santé

1. C / **2.** C / **3.** A / **4.** B / **5.** A

PAGE 110

Énigmes spatiales

Niveau 1 : La durée d'un tour complet est de 42 500/28 000 = env. 1,5 heure. Or 24/1,5 = 16. Donc Sophie Adenot fait environ 16 tours de la Terre par 24 heures.

Niveau 2 :

Planète	Diamètre en km (arrondi)	Satellite naturel	Période orbitale du satellite (en jours de 24 heures)
Mars	6000	Phobos	0,33
Jupiter	139 000	Io	1,75
Saturne	116 000	Encelade	1,38
Uranus	50 000	Titania	8,71
Neptune	49 000	Triton	5,89

PAGE 113

Chiffres croisés

	A	B	C	D
1	1	7	7	6
2	8	4	2	1
3	1	9	9	5
4	1	7	7	7

PAGE 110

Mots croisés - Mot caché : ARCHIMÈDE

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	T	E	M	P	S	■	E	R	R	A
2	■	R	O	S	E	■	T	E	■	I
3	P	E	U	■	U	T	■	L	E	S
4	L	■	V	E	L	O	C	I	T	E
5	E	T	E	S	■	R	I	R	A	■
6	I	R	M	■	T	D	■	A	G	E
7	N	■	E	■	R	E	A	■	E	M
8	■	I	N	F	I	N	I	■	R	U
9	A	L	T	O	■	T	R	I	E	L
10	H	E	■	L	A	■	E	S	S	E

PAGE 113

Sudoku

4	8	7	9	6	2	5	3	1
2	3	6	5	7	1	8	9	4
1	5	9	3	8	4	6	7	2
3	2	4	6	1	7	9	8	5
5	6	8	2	4	9	3	1	7
9	7	1	8	5	3	2	4	6
6	1	2	7	9	8	4	5	3
8	4	3	1	2	5	7	6	9
7	9	5	4	3	6	1	2	8

LABORATOIRES
ILAPHARM
ilapharm.com

Des solutions santé naturelle adaptées pour vous !

"Les produits des Laboratoires ILAPHARM me conviennent tout à fait, ils sont efficaces."
Avis vérifiés Juin 2025 - Rita M. ★★★★★

OFFRE DÉCOUVERTE
TOUT À 7€*

**Offre valable 2 mois, 1 seule fois, réservée aux nouveaux clients. Non cumulable avec d'autres offres promotionnelles en cours.*

Retrouvez, sur le bon de commande, la quantité recommandée par nos experts pour une efficacité optimale de nos produits !

ARTICULATIONS
- Mobilité plus aisée
- Souplesse et confort articulaire
- 100% Harpagophytum *(1)*

45 gélules
Durée : 15 jours

OS & ARTICULATIONS
- Constituant naturel des muscles, os et cartilages
- Formation du collagène

500 ml
Durée : 20 jours
~~23,60€~~

JAMBES LOURDES
- Active la circulation sanguine
- Légèreté et confort des jambes

45 gélules
Durée : 15 jours

CAPITAL-VISION
- Bonne acuité visuelle
- Limite les sensations de sécheresse oculaire *(4)*

45 comprimés
Durée : 15 jours

LIBIDO
- Source d'énergie
- Aphrodisiaque
- Stimule le désir sexuel
- Idéal avec le Safran BIO !

45 comprimés
Durée : 15 jours

SEXUALITÉ
- Stimule l'érection
- Forte concentration en actifs (crocines)
- Idéal avec la Maca BIO ! *(8)*

20 gélules
Durée : 10 jours

VIDER SA VESSIE
- Envies intempestives d'uriner
- Efficacité prouvée dès 4 semaines

45 gélules
Durée : 15 jours

PROSTATE
- Confort urinaire
- En cas de mauvais débit urinaire
- Prostate et vessie

45 capsules
Durée : 22 jours

SOMMEIL
- Calme et apaise
- Sommeil de qualité
- Ni accoutumance, ni somnolence

45 gélules
Durée : 22 jours

CHOLESTÉROL
- Régulation du cholestérol
- Bonne santé cardiovasculaire *(9), (10)*

30 gélules
Durée : 10 jours

MINCEUR
- Brûle-graisse naturel
- Besoin de perdre du poids
- Idéal avec le Nopal BIO ! *(1), (2), (4), (13)*

45 gélules
Durée : 15 jours

CAPTEUR DE GRAISSES
- Association brevetée de fibres alimentaires
- Idéal avec le Guarana BIO !

45 gélules
Durée : 8 jours

STRESS
- En cas de stress et fatigue passagère
- Magnésium et B6 : association optimale

Allergène : **poisson**. *(5)*

45 gélules
Durée : 22 jours

FOIE - DRAINEUR
- Favorise le fonctionnement du foie
- Détoxifie *(4), (6), (7)*

10 ampoules
Durée : 5 jours
~~17,70€~~

DIGESTION
- En cas de ballonnement et flatulence
- En cas de digestion difficile *(3)*

45 gélules
Durée : 11 jours

OLIGO-ÉLÉMENT
- Oligo-élément essentiel
- Vision, os, cerveau immunité
- Forme assimilable

30 comprimés
Durée : 1 mois
~~13,00€~~

Produits déconseillés aux moins de 18 ans et aux femmes enceintes ou allaitantes. (1) Déconseillé en cas d'ulcère gastrique ou duodénal. (2) Contient de la caféine (50 mg par jour). (3) Déconseillé en cas de d'allergie croisée connue, en particulier à la famille des Apiaceae ou au pollen d'armoise ou à l'anéthole. (4) Déconseillé en cas de troubles de la thyroïde. (5) Ne convient pas aux insuffisants rénaux. (6) Ne pas consommer en cas de maladie des voies biliaires et hépatiques. (7) Déconseillé en cas d'allergie aux Asteraceae. (8) Ne pas associer avec des antidépresseurs. (9) Ne pas associer avec des anticoagulants. (10) Déconseillé en cas de traitement concomitant par un médicament anti-rétroviral. (11) En cas de troubles digestifs consultez votre médecin avant consommation. (12) Espacez la prise de médicaments de celle de ce produit d'au moins 2h. (13) Déconseillé en cas de troubles cardiaques. (14) Déconseillé en cas de pathologie du système immunitaire. Les éventuelles traces d'allergènes sont indiquées sur l'étiquetage des produits. ***Nappe waterproof :*** *140 x 180 cm, 100% polyester, 140 g/m².*

VOS CADEAUX

La Nappe Pivoines

OFFERTE
Dès 20€ d'achat

0€ Livraison
Dès 25€ d'achat
Au lieu de ~~6,50€~~

2ème CADEAU OFFERT
Dès 30€ d'achat

Commandez sur :
ilapharm.com

COMMANDEZ SUR :
ilapharm.com
ou avec votre smartphone

CODE PRIVILÈGE :
CB609

OFFRE DÉCOUVERTE - SANS ENGAGEMENT

POUR COMMANDER :

@ **ilapharm.com**

Possibilité de régler par chèque

LABORATOIRES ILAPHARM
27, rue de Solférino - 92100 BOULOGNE-BILLANCOURT
01 49 09 11 11
Du lundi au vendredi 9h -13h et 14h -18h

COORDONNÉES ☐ Mme ☐ Mr

Nom, Prénom : .....

Adresse : .....

.....

Code Postal : |_|_|_|_|_| Ville : .....

.....

Tél. : ..... Date d'anniversaire : |_|_| |_|_| |_|_|_|_|

E-mail : .....

Pour recevoir les **Offres mails de nos partenaires** ☐ **OUI** ou ☐ **NON**

MODE DE PAIEMENT

☐ **Par carte bancaire (débit immédiat uniquement) :**

N° |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Date d'expiration : |_|_|_|_|

Chiffres inscrits au dos de ma carte : |_|_|_|

Signature :

☐ **Par chèque, je choisis :**
○ débit immédiat
○ débit dans 1 mois à l'ordre des Laboratoires ILAPHARM

GARANTIES

PAYEZ DANS 1 MOIS
Envoyez votre **réglement par chèque, avec votre bon de commande,** il ne sera encaissé que dans 1 mois.

Charte Qualité fevad · synadiet · La Poste

Quantité RECOMMANDÉE pour une CURE COMPLÈTE

NOM DU PRODUIT	RÉF.		QTÉ	PRIX UNITAIRE	TOTAL
ARTICULATIONS - Harpagophytum BIO	PHAB45	x3		7€	
OS - Silicium Organique et Vitamine C	PSI	x3		7€	
JAMBES LOURDES - Vigne Rouge BIO	PVRB45	x3		7€	
VISION - Spiruline BIO	PSNB45	x3		7€	
LIBIDO - Maca BIO	PMAB45	x3		7€	
SEXUALITÉ - Safran BIO	PSFB20	x3		7€	
VESSIE - Saw Palmetto BIO	PSPB45	x3		7€	
PROSTATE - Huile de Courge BIO	PPCB45	x2		7€	
SOMMEIL - Passiflore BIO	PPAB45	x3		7€	
CHOLESTÉROL - Ail Noir BIO	PANB30	x3		7€	
MINCEUR - Guarana BIO	PGUB45	x3		7€	
CAPTEUR DE GRAISSES - Nopal BIO	PNOB45	x3		7€	
STRESS - Magnésium Marin et B6	PMM45	x3		7€	
DRAINEUR - Artichaut - Radis Noir BIO	PXRAB	x3		7€	
DIGESTION - Charbon Fenouil BIO	PCFB45	x3		7€	
OLIGO-ÉLÉMENT - Zinc	PCZN	x3		7€	
☐ Ma commande atteint 20€, je reçois ma **NAPPE PIVOINES**					OFFERTE
☐ Ma commande atteint 25€, **j'économise 6,50€ sur la livraison**					OFFERTE
☐ Ma commande est inférieure à 25€, **je rajoute 6,50€ de livraison**					
Code Privilège : **CB609**				**TOTAL À RÉGLER**	..... €

Laboratoires ILAPHARM SAS au capital de 38112 €, RCS Nanterre B 384 620 878 - 27 rue de Solférino - 92100 Boulogne. Offre et frais de livraison valables en France Métropolitaine. En cas d'indisponibilité du cadeau, il sera remplacé par un autre d'une valeur similaire. Photos non contractuelles. Pour exercer les droits du Règlement européen sur la protection des données, écrivez-nous ou voir nos C.G.V sur notre site ilapharm.com/condition-generales-de-vente. Vous bénéficiez des dispositions de la garantie légale de non-conformité et des vices cachés (détails articles L.217-4 et suivants du Code de la consommation). Délai de rétractation : 30 jours après livraison de votre commande, pour retourner les produits pour remboursement ou échange sans pénalités, sauf frais de retour. Traitement de la commande : 48h suivant sa réception, livraison après 72h d'acheminement environ. Nous adhérons à la fédération du e-commerce et de la vente à distance (FEVAD) et au service de médiation du e-commerce (BP 20015 - 75362 Paris Cedex 8 mediateurduecommerce@fevad.com). ADEME emballages et papiers : FR202486_01JWKA, Pour votre santé, mangez au moins 5 fruits et légumes par jour, www.mangerbouger.fr. Cochez la case, pour ne pas recevoir nos offres ☐, celles de nos partenaires ☐, ou écrivez-nous.

ŠKODA

Ooh

c'est Epiq

Scannez pour obtenir votre Škoda Epiq parmi les premiers

Le tout nouveau Škoda Epiq, 100 % électrique.

Disponible dès maintenant à la commande.

Volkswagen Group France – SAS - Capital : 198 502 510 € – 11, av. de Boursonne – 02600 Villers-Cotterêts – RCS Soissons 832 277 370.

Pour les trajets courts, privilégiez la marche ou le vélo **#SeDéplacerMoinsPolluer**